

1AP20 Rec'd PCT/PTO 09 JUN 2006

Ferrocenyl-1,2-diphosphine, deren Herstellung und deren Verwendung

Die vorliegende Erfindung betrifft 1,2-Disekündärphosphinferrocene mit wenigstens einer zyklischen Phosphingruppe, Verfahren zu deren Herstellung; Metallkomplexe mit diesen Diphosphinferrocenen; sowie die Verwendung der Metallkomplexe als Katalysatoren für enantioselektive Anlagerungsreaktion an prochirale organische Verbindungen.

Chirale Diphosphine sind nützliche Liganden für die asymmetrische Katalyse, besonders für die enantioselektive Hydrierung von ungesättigten, prochiralen, organischen Verbindungen. In letzter Zeit sind auch Diphosphine mit zyklischen Sekundärphosphinresten (zum Beispiel Phosphetan- oder Phospholanresten) für diesen Zweck bekannt geworden. So sind in der EP-B1-0 592 552 und von M. J. Burk in Acc. of Chem. Res. Vol. 33, No. 6 (2000), Seiten 363 bis 372, 1,2-Diphospholane von zum Beispiel Benzol oder Ethan, sowie 1,1'-Ferrocenyl-diphospholane, ihre Herstellung über zyklische Butandiolsulfate, und deren Verwendung in Metallkomplexen zur enantioselektiven Katalyse beschrieben. Die Phospholanreste sind in den α,α' -Stellungen mit zum Beispiel Methyl oder Ethyl substituiert, um die gewünschte Chiralität zu gewährleisten. Bei den 1,1'-Ferrocenyl-diphospholanen sind die Phospholangruppen an je einen der beiden Cyclopentadienylringe gebunden. U. Berens et al. beschreiben in Angew. Chem. 112 (11) Seiten 2057-2060 (2000) 1,1'-Diphosphetanylferrocene mit α,α' -Substituenten wie zum Beispiel Methyl. 1,1'-Diphosphetanylferrocene werden auch in der WO 98/02445 erwähnt. In der EP-B1-0 889 048 werden Benzol-1,2-diphospholane vorgeschlagen, deren Phospholanringe zusätzlich mit Alkoxygruppen substituiert sind.

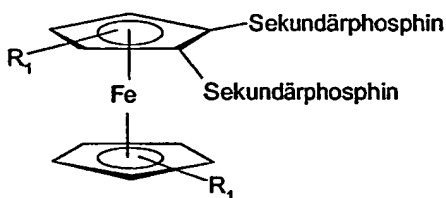
Als bestes Herstellungsverfahren für zyklische Sekundärphosphine hat sich bislang die Umsetzung primärer Diphosphine mit gegebenenfalls substituierten Alkylensulfaten erwiesen (siehe M. J. Burk in J. Am. Chem. Soc. 1991, 113, Seiten 8518-8519). Die Herstellung primärer Diphosphine ist in der Ferrocenreihe, wie zum Beispiel für Ferrocen-1,2-diphosphine noch gar nicht beschrieben. Ferrocenyl-1,2-disekündärphosphine mit wenigstens einer zyklischen Phosphingruppe sind auf Grund der synthetischen Schwierigkeiten noch nicht bekannt.

Es wurde nun überraschend gefunden, dass man mit organischen Lithium- oder Magnesiumverbindungen in Ferrocen-Monophosphinen das nicht-aktivierte Wasserstoffatom in Orthostellung zur Phosphingruppe dann in hohen Ausbeuten regioselektiv metallieren kann, wenn die Phosphingruppe Amino- und/oder Oxysubstituenten enthält. Die Reaktion verläuft dann besonders gut, wenn am P-Atom zusätzlich Boran der Formel BH_3 gebunden ist. Diese

metallierten Ferrocen-Monophosphine können in einfacher Weise, in überraschend hohen Ausbeuten und sogar im industriellen Massstab in Ferrocen-1,2-disekundärphosphine mit wenigstens einer zyklischen Sekundärphosphingruppe übergeführt werden.

In Ferrocenen wird mit der Metallierung eine planare Chiralität erzeugt. Es wurde zusätzlich überraschend gefunden, dass die Metallierung dann hoch stereoselektiv verläuft, wenn an die N- beziehungsweise O-Atome in der Phosphingruppe der Monophosphinferrocene chirale Reste gebunden sind, die insbesondere in α - oder β -Stellung zu den N- beziehungsweise O-Atomen ein chirales C-Atom enthalten. Auf diese Weise werden mit der Synthese direkt Diastereomere in hohen optischen Ausbeuten erhalten, so dass aufwendige Trennoperationen vermeidbar sind. Metallkomplexe mit den Ferrocen-1,2-disekundärphosphinen eignen sich hervorragend für eine asymmetrische Hydrierung bei hohen chemischen und optischen Ausbeuten.

Ein erster Gegenstand der Erfindung sind Verbindungen der Formel I in Form von Racematen, Gemischen von Diastereomeren oder im wesentlichen reinen Diastereomeren,



(I),

worin

R_1 Wasserstoffatom oder C_1 - C_4 -Alkyl bedeutet, und wenigstens ein Sekundärphosphin eine unsubstituierte oder substituierte zyklische Phosphingruppe darstellt.

Bei R_1 als Alkyl kann es sich zum Beispiel um Methyl, Ethyl, n- oder i-Propyl, n-, i- oder t-Butyl handeln. Bevorzugt ist R_1 ein Wasserstoffatom.

Die nicht-zyklische, sekundäre Phosphingruppe kann zwei gleiche oder zwei verschiedene Kohlenwasserstoffreste enthalten. Bevorzugt enthält die Phosphingruppe zwei gleiche Kohlenwasserstoffreste. Die Kohlenwasserstoffreste können unsubstituiert oder substituiert sein und sie können 1 bis 22, bevorzugt 1 bis 12, und besonders bevorzugt 1 bis 8 C-Atome enthalten. Ein bevorzugtes nicht-zyklisches Sekundärphosphino ist jenes, worin die Phosphingruppe zwei gleiche oder verschiedene Reste, ausgewählt aus der Gruppe lineares oder

verzweigtes C₁-C₁₂-Alkyl; unsubstituiertes oder mit C₁-C₆-Alkyl oder C₁-C₆-Alkoxy substituiertes C₅-C₁₂-Cycloalkyl oder C₅-C₁₂-Cycloalkyl-CH₂; Phenyl oder Benzyl; oder mit Halogen (zum Beispiel F, Cl und Br), C₁-C₆-Alkyl, C₁-C₆-Halogenalkyl (zum Beispiel Trifluormethyl), C₁-C₆-Alkoxy, C₁-C₆-Halogenalkoxy (zum Beispiel Trifluormethoxy), (C₆H₅)₃Si, (C₁-C₁₂-Alkyl)₃Si, Sekundäramino oder -CO₂-C₁-C₆-Alkyl (zum Beispiel -CO₂CH₃) substituiertes Phenyl oder Benzyl, enthält.

Beispiele für P-Substituenten als Alkyl, das bevorzugt 1 bis 6 C-Atome enthält, sind Methyl, Ethyl, n-Propyl, i-Propyl, n-Butyl, i-Butyl, t-Butyl, und die Isomeren von Pentyl und Hexyl. Beispiele für P-Substituenten als gegebenenfalls mit Alkyl substituiertes Cycloalkyl sind Cyclopentyl, Cyclohexyl, Methyl- und Ethylcyclohexyl, und Dimethylcyclohexyl. Beispiele für P-Substituenten als mit Alkyl, Alkoxy, Halogenalkyl und Halogenalkoxy substituiertes Phenyl und Benzyl sind Methylphenyl, Dimethylphenyl, Trimethylphenyl, Ethylphenyl, Methylbenzyl, Methoxyphenyl, Dimethoxyphenyl, Trifluormethylphenyl, Bis-trifluormethylphenyl, Tris-trifluormethylphenyl, Trifluormethoxyphenyl, Bis-trifluormethoxyphenyl und 3,5-Dimethyl-4-methoxyphenyl.

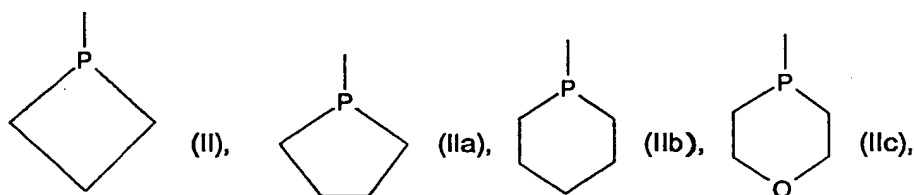
Bevorzugte Phosphingruppen sind solche, die gleiche oder verschiedene und bevorzugt gleiche Reste ausgewählt aus der Gruppe C₁-C₆-Alkyl, unsubstituiertes oder mit 1 bis 3 C₁-C₄-Alkyl oder C₁-C₄-Alkoxy substituiertes Cyclopentyl oder Cyclohexyl, Benzyl und besonders Phenyl, die unsubstituiert oder substituiert sind mit 1 bis 3 C₁-C₄-Alkyl, C₁-C₄-Alkoxy, F, Cl, C₁-C₄-Fluoralkyl oder C₁-C₄-Fluoralkoxy, enthalten.

Die Sekundärphosphinogruppe entspricht bevorzugt der Formel -PR₂R₃, worin R₂ und R₃ unabhängig voneinander einen Kohlenwasserstoffrest mit 1 bis 20 C-Atomen darstellen, der unsubstituiert oder substituiert ist mit Halogen, C₁-C₆-Alkyl, C₁-C₆-Halogenalkyl, C₁-C₆-Alkoxy, C₁-C₆-Halogenalkoxy, Di-C₁-C₄-Alkylamino, (C₆H₅)₃Si, (C₁-C₁₂-Alkyl)₃Si, oder -CO₂-C₁-C₆-Alkyl.

Bevorzugt sind R₂ und R₃ gleiche oder verschiedene und insbesondere gleiche Reste, ausgewählt aus der Gruppe lineares oder verzweigtes C₁-C₆-Alkyl, unsubstituiertes oder mit ein bis drei C₁-C₄-Alkyl oder C₁-C₄-Alkoxy substituiertes Cyclopentyl oder Cyclohexyl, unsubstituiertes oder mit ein bis drei C₁-C₄-Alkyl oder C₁-C₄-Alkoxy substituiertes Benzyl, und insbesondere unsubstituiertes oder mit ein bis drei C₁-C₄-Alkyl, C₁-C₄-Alkoxy, -NH₂, OH, F, Cl, C₁-C₄-Fluoralkyl oder C₁-C₄-Fluoralkoxy substituiertes Phenyl.

Besonders bevorzugt bedeuten R_2 und R_3 gleiche oder verschiedene und insbesondere gleiche Reste, ausgewählt aus der Gruppe C_1 - C_6 -Alkyl, Cyclopentyl, Cyclohexyl, und unsubstituiertes oder mit ein bis drei C_1 - C_4 -Alkyl, C_1 - C_4 -Alkoxy und/oder C_1 - C_4 -Fluoralkyl substituiertes Phenyl.

Zyklisches Sekundärphosphino kann den Formeln II, IIa, IIb oder IIc entsprechen,



die unsubstituiert oder ein- oder mehrfach substituiert sind mit -OH, C_1 - C_8 -Alkyl, C_1 - C_8 -Hydroxyalkyl, C_4 - C_8 -Cycloalkyl, C_1 - C_6 -Alkoxy, C_1 - C_4 -Alkoxy- C_1 - C_4 -Alkyl, Phenyl, C_1 - C_4 -Alkyl- oder C_1 - C_4 -Alkoxyphenyl, Benzyl, C_1 - C_4 -Alkyl- oder C_1 - C_4 -Alkoxybenzyl, Benzyloxy, C_1 - C_4 -Alkyl- oder C_1 - C_4 -Alkoxybenzyloxy, oder C_1 - C_4 -Alkyliden-dioxy.

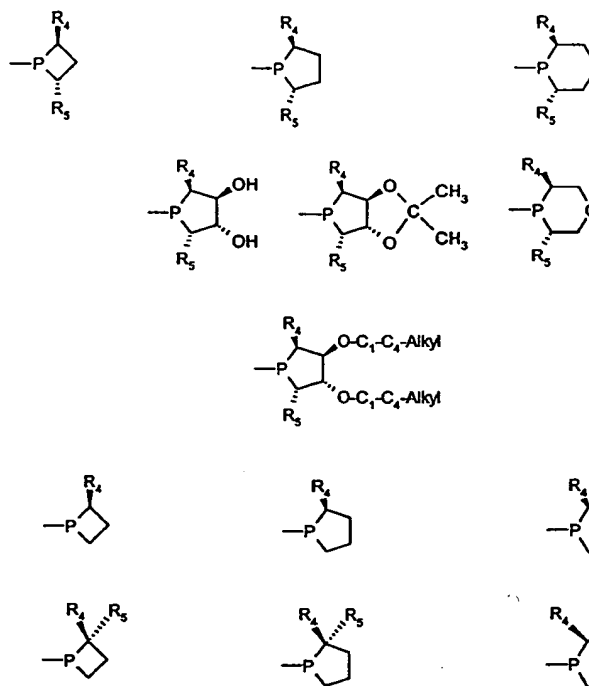
Die Substituenten können in einer oder beiden α -Stellungen zum P-Atom gebunden sein, um chirale α -C-Atome einzuführen. Bei den Substituenten in einer oder beiden α -Stellungen handelt es sich bevorzugt um C_1 - C_4 -Alkyl, C_1 - C_4 -Hydroxyalkyl, oder Benzyl, zum Beispiel um Methyl, Ethyl, n- oder i-Propyl, n-, i- oder t-Butyl, Hydroxymethyl, 1- oder 2-Hydroxyethyl, 1-, 2- oder 3-Hydroxypropyl, Benzyl oder $-CH_2-O-C_1-C_4$ -Alkyl beziehungsweise $-CH_2-O-C_6-C_{10}$ -Aryl.

Bei Substituenten in den β , γ -Stellungen kann es sich zum Beispiel um C_1 - C_4 -Alkyl, C_1 - C_4 -Hydroxyalkyl, C_1 - C_4 -Alkoxy, Benzyloxy, oder $-O-CH_2-O-$, $-O-CH(C_1-C_4-Alkyl)-O-$, und $-O-C(C_1-C_4-Alkyl)_2-O-$ handeln. Einige Beispiele sind Methyl, Ethyl, Methoxy, Ethoxy, $-O-CH(Methyl)-O-$, und $-O-C(Methyl)_2-O-$.

Je nach Art der Substitution und Anzahl der Substituenten können die zyklischen Phosphinreste C-chiral, P-chiral oder C- und P-chiral sein.

An zwei benachbarte C-Atome in den Resten der Formeln II bis IIc kann ein aliphatischer 5- oder 6-Ring oder Benzol ankondensiert sein.

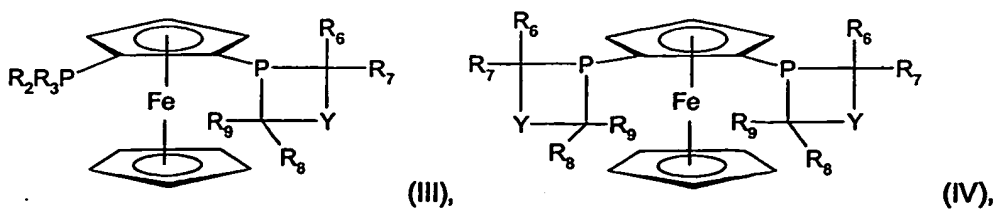
Bevorzugt entspricht das zyklische Sekundärphosphino den Formeln (nur eines der möglichen Diastereomeren angegeben)



workin

die Reste R₄ und R₅ für C₁-C₄-Alkyl, C₁-C₄-Hydroxyalkyl, zum Beispiel Methyl, Ethyl, n- oder i-Propyl, Hydroxymethyl, 1- oder 2-Hydroxyethyl, Benzyl, oder -CH₂-O-C₁-C₄-Alkyl beziehungsweise -CH₂-O-C₆-C₁₀-Aryl stehen, und R₄ und R₅ gleich oder voneinander verschieden sind.

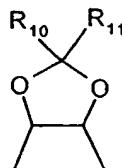
In einer bevorzugten Ausführungsform entsprechen die Verbindungen der Formel I den Formeln III oder IV,



- 6 -

worin

R_2 und R_3 die zuvor angegebenen Bedeutungen haben, einschliesslich der Bevorzugungen, Y für $-\text{CH}_2-$, $-\text{CH}_2\text{CH}_2-$, $-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-$, $-\text{CH}(\text{OH})\text{CH}(\text{OH})-$, $-\text{CH}(\text{OC}_1\text{-C}_4\text{-Alkyl})\text{CH}(\text{OC}_1\text{-C}_4\text{-Alkyl})-$ steht, oder einen Rest der Formel



bedeutet,

R_6 , R_7 , R_8 und R_9 unabhängig voneinander H, $\text{C}_1\text{-C}_4\text{-Alkyl}$, $\text{C}_1\text{-C}_4\text{-Hydroxyalkyl}$, Benzyl, oder $-\text{CH}_2\text{-O-C}_1\text{-C}_4\text{-Alkyl}$ beziehungsweise $-\text{CH}_2\text{-O-C}_6\text{-C}_{10}\text{-Aryl}$ darstellt, und wenigstens einer der Reste R_6 , R_7 , R_8 und R_9 $\text{C}_1\text{-C}_4\text{-Alkyl}$ oder Benzyl bedeutet,

R_{10} H oder $\text{C}_1\text{-C}_4\text{-Alkyl}$ ist, und

R_{11} $\text{C}_1\text{-C}_4\text{-Alkyl}$ bedeutet.

Bevorzugte Ausführungsformen der Verbindungen der Formeln III oder IV sind solche, worin R_6 H, $\text{C}_1\text{-C}_4\text{-Alkyl}$, $\text{C}_1\text{-C}_4\text{-Hydroxyalkyl}$, Benzyl, oder $-\text{CH}_2\text{-O-C}_1\text{-C}_4\text{-Alkyl}$ beziehungsweise $-\text{CH}_2\text{-O-C}_6\text{-C}_{10}\text{-Aryl}$ darstellt und R_7 , R_8 und R_9 für H steht, oder worin R_6 und R_8 $\text{C}_1\text{-C}_4\text{-Alkyl}$, $\text{C}_1\text{-C}_4\text{-Hydroxyalkyl}$, Benzyl oder $-\text{CH}_2\text{-O-C}_1\text{-C}_4\text{-Alkyl}$ beziehungsweise $-\text{CH}_2\text{-O-C}_6\text{-C}_{10}\text{-Aryl}$ darstellen und R_7 und R_9 für H stehen, oder worin R_6 und R_7 $\text{C}_1\text{-C}_4\text{-Alkyl}$, $\text{C}_1\text{-C}_4\text{-Hydroxyalkyl}$, Benzyl, oder $-\text{CH}_2\text{-O-C}_1\text{-C}_4\text{-Alkyl}$ beziehungsweise $-\text{CH}_2\text{-O-C}_6\text{-C}_{10}\text{-Aryl}$ bedeuten und R_8 und R_9 für H stehen. Alkyl stellt bevorzugt Methyl, Ethyl, n- oder i- Propyl dar.

Die erfindungsgemässen Verbindungen der Formel I sind Liganden zur Bildung von Metallkomplexen. Es kann vorteilhaft sein bezüglich Stabilität und Handhabbarkeit auch an Luft, die Verbindungen in Phosphoniumsalze mit ein oder zwei monovalenten beziehungsweise einem divalenten Anionen überzuführen. Die Komplexbildung wird hierbei nicht beeinträchtigt. Sofern Liganden der Formel I in Lösung vorliegen, kann es zweckmässig sein, zur Lagerung und Versand in situ Salze zu bilden und Salze nicht zu isolieren. Eine Salzbildung kann aber auch unmittelbar vor der Anwendung, also der Bildung von Metallkomplexen erfolgen. Für die Salzbildung in Lösung können zum Beispiel Mineralsäuren wie Halogenwasserstoffsäuren oder Schwefelsäure verwendet werden, bevorzugt HCl oder HBr. Es können auch Halogenkarbonsäuren, Halogensulfonsäuren oder Komplexsäuren hierfür eingesetzt werden, die vorteilhafter für die Bildung kristalliner und stabiler, isolierbarer Salze eingesetzt

- 7 -

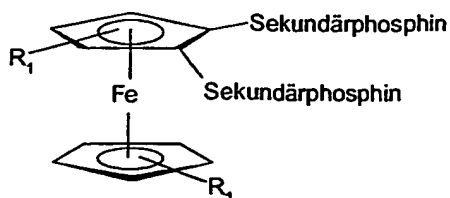
werden. Beispiele für Anionen solcher Säuren sind $R_a\text{COO}^-$, $R_a\text{SO}_3^-$, BF_4^- , PF_6^- , AsF_6^- , SbF_6^- , $\text{B}(\text{C}_6\text{F}_5)_4^-$ oder $\text{B}(3,5\text{-Bistrifluormethyl-phenyl})_4^-$, wobei R_a $\text{C}_1\text{-C}_6\text{-Halogenalkyl}$, $\text{C}_5\text{-C}_{10}\text{-Halogencycloalkyl}$ oder $\text{C}_6\text{-C}_{10}\text{-Halogenaryl}$ bedeutet.

Das Halogenalkyl (zum Beispiel $\text{C}_1\text{-C}_4\text{-Halogenalkyl}$), Halogencycloalkyl (zum Beispiel $\text{C}_5\text{-C}_6\text{-Halogencycloalkyl}$) und Halogenaryl (zum Beispiel Halogenphenyl) kann ein oder mehrere Halogenatome enthalten und es kann sich um vollständig halogenierte Reste handeln. Beim Halogen handelt es sich bevorzugt um Cl und ganz besonders bevorzugt um F. Besonders bevorzugt sind perfluorierte Reste. Einige Beispiele sind Mono-, Di- und Trichlormethyl, 1,1,1-Trichlorethyl, 2,2-Dichlorethyl, 1,2,2-Trichlorethyl, Pentachlorethyl, Mono-, Di- und Trifluormethyl, 2,2-Difluorethyl, 1,1,1-Trifluorethyl, 1,2,2-Trifluorethyl, Pentafluorethyl und Pentafluorphenyl.

R_a stellt besonders bevorzugt $\text{C}_1\text{-C}_4\text{-Perfluoralkyl}$ dar. Besonders bevorzugte Anionen sind CF_3COO^- , CF_3SO_3^- , BF_4^- , PF_6^- , AsF_6^- , und SbF_6^- .

Die erfindungsgemässen Ferrocendiphosphine können über ein neues Verfahren hergestellt werden, in dem eine selektive Orthometallierung von Ferrocenylmonophosphinen mit P-O und/oder P-N gebundenen und gegebenenfalls chiralen Resten den Schlüsselschritt der Reaktionsfolge darstellt. Das Verfahren ist modular für die Schaffung unterschiedlicher Substitutionen an den beiden P-Atomen und weist hohe Ausbeuten auf. Zusätzlich kann man auf einfache Weise und hohen Ausbeuten direkt reine Diastereomere oder Paare von einfach trennbaren Paaren von Diastereomeren herstellen. Das Verfahren ist besonders für die Herstellung der erfindungsgemässen Diphosphine im industriellen Massstab geeignet.

Ein weiterer Gegenstand ist ein Verfahren zur Herstellung von Verbindungen der Formel I in Form von Racematen, Gemischen von Diastereomeren oder im wesentlichen reinen Diastereomeren,

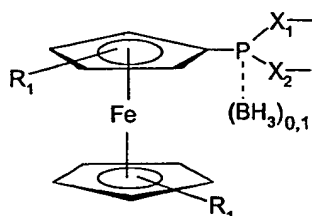


(I),

worin

R_1 Wasserstoffatom oder C_1 - C_4 -Alkyl bedeutet, und wenigstens ein Sekundärphosphin eine unsubstituierte oder substituierte zyklische Phosphingruppe darstellt, umfassend die Schritte

a) Umsetzung einer Verbindung der Formel V

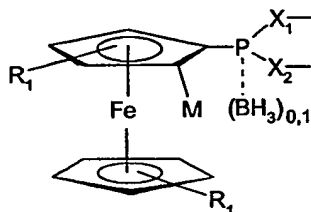


(V),

worin

X_1 und X_2 unabhängig voneinander O oder N- bedeuten, und an die freien Bindungen der O- und N-Atome C-gebundene Kohlenwasserstoff- oder Heterokohlenwasserstoffreste gebunden sind,

mit wenigstens äquivalenten Mengen Lithiumalkyl, einer Magnesium-Grignardverbindung, oder einem aliphatischen Li-Sekundäramid oder X_3Mg -Sekundäramid zu einer Verbindung der Formel VI,



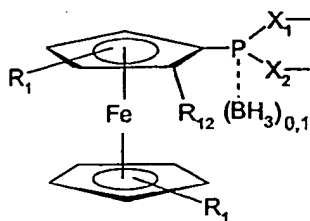
(VI),

worin

M für -Li oder - MgX_3 steht und X_3 Cl, Br oder I darstellt,

b) Umsetzung der Verbindung der Formel VI mit wenigstens äquivalenten Mengen eines Disekundäramino-phosphinhalogenids, eines Dialkoxyphosphinhalogenids, Disekundäramino-P(O)-halogenid, Dialkoxy-P(O)-halogenid oder PCl_3 oder PBr_3 zu einer Verbindung der Formel VII

- 9 -



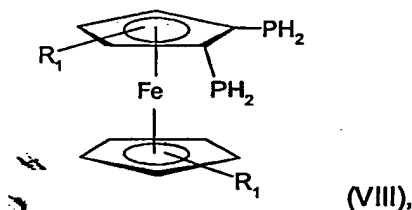
(VII),

worin

R_{12} - PCl_2 , - PBr_2 , Di(sekundäramino)P-, DialkoxyP-, Disekundäramino-P(O)-, Dialkoxy-P(O)- darstellt, und

b1) aus einer Verbindung der Formel VII, wenn vorhanden, die Borangruppe entfernt, dann die Reste (Hetero)Kohlenwasserstoff- X_1 , (Hetero)Kohlenwasserstoff- X_2 , oder X_1 -(Hetero)-Kohlenwasserstoff- X_2 sowie Disekundäramino oder Dialkoxy mit HCl oder HBr unter Bildung einer - PCl_2 -Gruppe oder - PBr_2 -Gruppe abspaltet, und danach die -(O) PCl_2 -Gruppen, -(O) PBr_2 -Gruppen, - PCl_2 -Gruppen oder - PBr_2 -Gruppen zu einer Verbindung der Formel VIII hydriert, oder

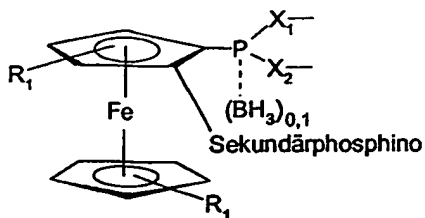
b2) aus einer Verbindung der Formel VII die Reste (Hetero)Kohlenwasserstoff- X_1 , (Hetero)-Kohlenwasserstoff- X_2 , oder X_1 -(Hetero)Kohlenwasserstoff- X_2 sowie Disekundäramino oder Dialkoxy mit HCl oder HBr unter Bildung einer - PCl_2 -Gruppe oder - PBr_2 -Gruppe abspaltet, und danach die -(O) PCl_2 -Gruppen, -(O) PBr_2 -Gruppen, - PCl_2 -Gruppen oder - PBr_2 -Gruppen hydriert, und dann die Borangruppe zur Bildung einer Verbindung der Formel VIII,



(VIII),

entfernt, oder

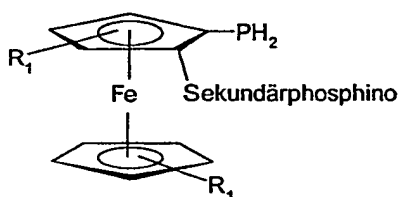
c) Umsetzung einer Verbindung der Formel VI mit einem Sekundärphosphin-halogenid zu einer Verbindung der Formel IX,



(IX),

- 10 -

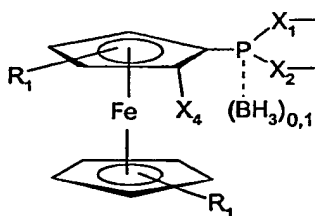
- c1) aus einer Verbindung der Formel IX, wenn vorhanden, die Borangruppe entfernt, dann die Reste (Hetero)Kohlenwasserstoff- X_1 , (Hetero)Kohlenwasserstoff- X_2 , oder X_1 -(Hetero)-Kohlenwasserstoff- X_2 mit HCl oder HBr unter Bildung einer $-PCl_2$ -Gruppe oder $-PBr_2$ -Gruppe abspaltet, und danach die $-PCl_2$ -Gruppen oder $-PBr_2$ -Gruppen zu einer Verbindung der Formel X hydriert, oder
- c2) aus einer Verbindung der Formel IX die Reste (Hetero)Kohlenwasserstoff- X_1 , (Hetero)-Kohlenwasserstoff- X_2 , oder X_1 -(Hetero) Kohlenwasserstoff- X_2 mit HCl oder HBr unter Bildung einer $-PCl_2$ -Gruppe oder $-PBr_2$ -Gruppe abspaltet, und danach die $-PCl_2$ -Gruppen oder $-PBr_2$ -Gruppen hydriert, und dann die Borangruppe zur Bildung einer Verbindung der Formel X



(X)

entfernt, oder

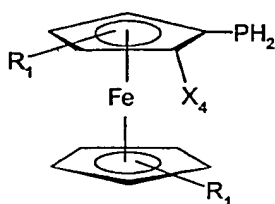
- d) Umsetzung einer Verbindung der Formel VI mit einem Halogenierungsreagenz zu einer Verbindung der Formel XI



(XI),

wobei X_4 für Cl, Br oder I steht,

- d1) aus einer Verbindung der Formel XI, wenn vorhanden, die Borangruppe entfernt, dann die Reste (Hetero)Kohlenwasserstoff- X_1 , (Hetero)Kohlenwasserstoff- X_2 , oder X_1 -(Hetero)-Kohlenwasserstoff- X_2 mit HCl oder HBr unter Bildung einer $-PCl_2$ -Gruppe oder $-PBr_2$ -Gruppe abspaltet, und danach die $-PCl_2$ -Gruppe oder $-PBr_2$ -Gruppe zu einer Verbindung der Formel XII hydriert, oder
- d2) aus einer Verbindung der Formel XI die Reste (Hetero)Kohlenwasserstoff- X_1 , (Hetero)-Kohlenwasserstoff- X_2 , oder X_1 -(Hetero) Kohlenwasserstoff- X_2 mit HCl oder HBr unter Bildung einer $-PCl_2$ -Gruppe oder $-PBr_2$ -Gruppe abspaltet, und danach die $-PCl_2$ -Gruppen oder $-PBr_2$ -Gruppen hydriert, und dann die Borangruppe zur Bildung einer Verbindung der Formel XII



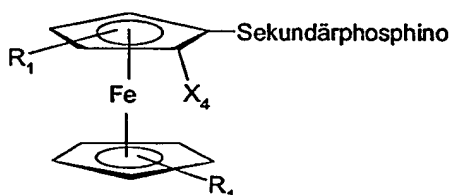
(XII)

entfernt, und

d3) die Verbindung der Formel XII mit einem metallierten Sekundärphosphid zu einer Verbindung der Formel X umsetzt,

e) Umsetzung der Verbindung der Formel VII mit wenigstens 2 Äquivalenten und der Verbindung der Formel X mit wenigstens 1 Äquivalent eines zyklischen Sulfats oder eines offenkettigen Disulfonats zur Herstellung von Verbindungen der Formel I, worin eine oder beide Sekundärphosphinogruppen zyklisches Sekundärphosphino darstellen, oder

f) Umsetzung einer Verbindung der Formel XII mit wenigstens 1 Äquivalent eines zyklischen Sulfats oder eines offenkettigen Disulfonats zur Herstellung von Verbindungen der Formel XIII,



(XIII)

worin Sekundärphosphino zyklisches Sekundärphosphino darstellt, die gegebenenfalls mit BH_3 geschützt ist, und danach Umsetzung einer Verbindung der Formel XIII mit wenigstens 1 Äquivalent Lithiumalkyl und dann mit wenigstens 1 Äquivalent Sekundärphosphinhalogenid zu einer Verbindung der Formel I.

Aliphatisches Li-Sekundäramid oder X_3Mg -Sekundäramid in Stufe a) kann sich von Sekundäraminen ableiten, die 2 bis 18, bevorzugt 2 bis 12, und besonders bevorzugt 2 bis 10 C-Atome enthalten. Bei den an das N-Atom gebundenen aliphatischen Resten kann es sich um Alkyl, Cycloalkyl oder Cycloalkyl-alkyl handeln, oder es kann sich um N-heterocyclische Ringe mit 4 bis 12, und bevorzugt 5 bis 7 C-Atomen handeln. Beispiele für an das N-Atom gebundene Reste sind Methyl, Ethyl, n-Propyl, n-Butyl, Pentyl, Hexyl, Cyclopentyl, Cyclohexyl, und Cyclohexylmethyl. Beispiele für N-heterocyclische Ringe sind Pyrrolidin, Piperidin, Morpholin, N-Methylpiperazin, 2,2,6,6-Tetramethylpiperidin, und Azanorboman. In einer bevorzugten Ausführungsform entsprechen die Amide den Formeln $\text{Li-N}(\text{C}_1\text{-C}_4\text{-Alkyl})_2$ oder $\text{X}_3\text{Mg-N}(\text{C}_1\text{-C}_4\text{-Alkyl})_2$, worin Alkyl insbesondere Methyl ist.

In den Verbindungen der Formel V bedeuten X_1 und X_2 bevorzugt N.

Im Rahmen der Erfindung können an die Gruppen X_1 und X_2 zum Beispiel folgende Kohlenwasserstoff- oder Heterokohlenwasserstoffreste gebunden sein:

ein monovalenter (Hetero)Kohlenwasserstoffrest an je X_1 und X_2 oder ein bivalenter (Hetero)Kohlenwasserstoffrest an X_1 und X_2 , wenn X_1 und X_2 O bedeuten;

zwei monovalente (Hetero)Kohlenwasserstoffreste an je X_1 und X_2 , wenn X_1 und X_2 N bedeuten;

zwei bivalente (Hetero)Kohlenwasserstoffreste an je X_1 und X_2 , wenn X_1 und X_2 N bedeuten, wobei die bivalenten (Hetero)Kohlenwasserstoffreste mit einer Bindung, Methylen oder Ethylen überbrückt sein können;

ein bivalenter (Hetero)Kohlenwasserstoffrest an X_1 und zwei monovalente Reste an X_2 , wenn X_1 und X_2 N bedeuten, wobei ein monovalenter Rest an den bivalenten (Hetero)Kohlenwasserstoffrest gebundenes Methylen oder Ethylen ist;

ein monovalenter (Hetero)Kohlenwasserstoffrest an je X_1 und X_2 , und ein bivalenter (Hetero)Kohlenwasserstoffrest an je X_1 und X_2 , wenn X_1 und X_2 N bedeuten;

zwei monovalente (Hetero)Kohlenwasserstoffreste an X_1 und ein bivalenter (Hetero)Kohlenwasserstoffrest an X_2 gebunden sind, wenn X_1 und X_2 N bedeuten;

zwei bivalente (Hetero)Kohlenwasserstoffreste an je X_1 und X_2 gebunden sind, wenn X_1 und X_2 N bedeuten;

X_1 O bedeutet und ein monovalenter (Hetero)Kohlenwasserstoffrest an X_1 gebunden ist, sowie X_2 N bedeutet und zwei monovalente (Hetero)Kohlenwasserstoffreste oder ein bivalenter (Hetero)Kohlenwasserstoffrest an X_2 gebunden sind;

X_1 O und X_2 N bedeuten, und ein bivalenter (Hetero)Kohlenwasserstoffrest an X_1 und X_2 sowie ein monovalenter (Hetero) Kohlenwasserstoffrest an X_2 gebunden sind;

ein bivalenter, aromatischer 1,1'-(Hetero)Kohlenwasserstoffrest, wenn X_1 und X_2 O bedeuten; oder

ein bivalenter, aromatischer 1,1'-(Hetero)Kohlenwasserstoffrest an X_1 und X_2 und ein monovalenter (Hetero)Kohlenwasserstoffrest an je X_1 und X_2 , wenn X_1 und X_2 N bedeuten.

Bei den an X_1 und X_2 C-gebundenen Kohlenwasserstoff- oder Heterokohlenwasserstoffresten kann es sich

- a) um gesättigte oder ungesättigte, geradkettige, verzweigte oder zyklische und monovalente Reste handeln, wobei zwei monovalente Reste an X_1 und X_2 in der Bedeutung von N gebunden sind;
- b) um gesättigte, ungesättigte, geradkettige, verzweigte und/oder zyklische beziehungsweise bityklische bivalente Reste handeln, die an X_1 und/oder X_2 gebunden sind, wenn X_1 und X_2 N bedeuten, und einen 4- bis 7-gliedrigen Ring bilden, oder
- c) um gesättigte, ungesättigte, geradkettige, verzweigte und/oder zyklische beziehungsweise bityklische bivalente Reste handeln, die ein O- und N-Atom, oder zwei N-Atome einfach oder zweifach überbrücken und mit der Gruppe $-X_1-P-X_2-$ einen 5- bis 7-gliedrigen Ring bilden.

Heterokohlenwasserstoffreste können Heteroatome ausgewählt aus der Gruppe O, S und N(C_1 - C_4 -Alkyl) enthalten. Die Anzahl der Heteroatome beträgt bevorzugt 1 bis 4, bevorzugter 1 bis 3 und besonders bevorzugt 1 oder 2. Die Kohlenwasserstoff- oder Heterokohlenwasserstoffreste können 1 bis 18, bevorzugt 1 bis 12, und besonders bevorzugt 1 bis 8 C-Atome und gegebenenfalls Heteroatome enthalten. Die Reste können ein- oder mehrfach, vorzugsweise ein- bis dreifach oder ein- oder zweifach substituiert sein, zum Beispiel mit Phenyl, Phenoxy, Benzyl, Benzyloxy, C_1 - C_4 -Alkylphenyl, C_1 - C_4 -Alkylphenoxy, C_1 - C_4 -Alkylbenzyl, C_1 - C_4 -Alkylbenzyloxy, C_1 - C_4 -Alkoxyphenyl, C_1 - C_4 -Alkoxyphenoxy, C_1 - C_4 -Alkoxybenzyl, C_1 - C_4 -Alkoxybenzyloxy, C_1 - C_4 -Alkylthiophenyl, C_1 - C_4 -Alkylthiophenoxy, C_1 - C_4 -Alkylthiobenzyl, C_1 - C_4 -Alkylthiobenzyloxy, Di(C_1 - C_4 -Alkyl)aminophenyl, Di(C_1 - C_4 -Alkyl)aminophenoxy, Cyclohexyl, Cyclopentyl, C_1 - C_4 -Alkylcyclohexyl, C_1 - C_4 -Alkylcyclopentyl, C_1 - C_4 -Alkoxy-cyclohexyl, C_1 - C_4 -Alkoxy-cyclopentyl, Fluor, C_1 - C_4 -Alkyl, C_1 - C_4 -Fluoralkyl, C_1 - C_4 -Alkoxy, C_1 - C_4 -Alkylthio, Di(C_1 - C_4 -Alkyl)amino, C_1 - C_4 -Alkoxy- C_1 - C_4 -Alkyl, C_1 - C_4 -Alkylthio- C_1 - C_4 -Alkyl, oder Di(C_1 - C_4 -Alkyl)amino- C_1 - C_4 -Alkyl. Eine Substitution in den α - oder β -Stellungen zu den Gruppen X_1 und X_2 ist insofern bevorzugt, als der Rest chirale C-Atome aufweist, die bei der Metallierung und Folgereaktionen eine optische Induktion verursachen können. Einige spezifische Substituenten sind Methyl, Ethyl, n- und i-Propyl, n-, i- und t-Butyl, Trifluormethyl, Methoxy, Ethoxy, Propoxy, i-Propoxy, Butoxy, i-Butoxy, t-Butoxy, Methylthio, Ethylthio, Dimethylamino, Diethylamino, Phenyl, Phenoxy, Methoxyphenyl und Methoxyphenoxy.

Bei den an X_1 und X_2 C-gebundenen Kohlenwasserstoff- oder Heterokohlenwasserstoffresten kann es sich bei monovalenten Resten zum Beispiel um unsubstituiertes oder substituiertes C_1 - C_{18} -, bevorzugt C_1 - C_{12} -, und besonders bevorzugt C_1 - C_8 -(Hetero)Alkyl; unsubstituiertes oder substituiertes C_2 - C_{18} -, bevorzugt C_2 - C_{12} -, und besonders bevorzugt C_3 - C_8 -(Hete-

ro)Alkenyl; unsubstituiertes oder substituiertes C₃-C₁₂- und bevorzugt C₃-C₈-(Hetero)Cycloalkyl, unsubstituiertes oder substituiertes C₃-C₁₂- und bevorzugt C₃-C₈-(Hetero)Cycloalkenyl, unsubstituiertes oder substituiertes C₃-C₁₂- und bevorzugt C₃-C₈-(Hetero)Cycloalkyl-C₁-C₄-alkyl, unsubstituiertes oder substituiertes C₃-C₁₂- und bevorzugt C₃-C₈-(Hetero)Cycloalkenyl-C₁-C₄-alkyl, unsubstituiertes oder substituiertes C₆-C₁₄-(Hetero)aryl, und C₆-C₁₄-(Hetero)aryl-C₁-C₄-alkyl handeln. Bevorzugt sind gesättigte und aromatische Kohlenwasserstoff- oder Heterokohlenwasserstoffreste.

Bei monovalenten Kohlenwasserstoffresten kann es sich um lineares oder verzweigtes C₁-C₁₂-Alkyl, bevorzugt C₁-C₈-Alkyl und besonders bevorzugt C₁-C₄-Alkyl, C₃-C₈- und bevorzugt C₄-C₆-Cycloalkyl, C₃-C₈-Cycloalkyl- und bevorzugt C₄-C₆-Cycloalkyl-methyl oder -ethyl, C₆-C₁₄- und bevorzugt C₆-C₁₀-Aryl, C₇-C₁₅-Aralkyl und bevorzugt C₇-C₁₁-Aralkyl handeln. Einige spezifische Beispiele sind Methyl, Ethyl, n- und i-Propyl, n-Butyl, Pentyl, Hexyl, Heptyl, Octyl, Cyclopropyl, Cyclobutyl, Cyclopentyl, Cyclohexyl, Cycloheptyl, Cyclooctyl, Cyclobutyl-methyl, Cyclopentyl-methyl, Cyclohexylmethyl, Cyclobutyl-ethyl, Cyclopentyl-ethyl, Cyclohexyl-ethyl, Phenyl, Naphthyl, Benzyl und Phenylethyl. Wenn eine chirale Induktion erzielt werden soll, zum Beispiel bei Ferrocenen, dann sind die Kohlenwasserstoffreste bevorzugt in α - und/oder β -Stellung zu X₁ und/oder X₂ substituiert, zum Beispiel mit C₁-C₄-Alkyl, C₁-C₄-Alkoxy, (C₁-C₄-Alkyl)₂N-, C₁-C₄-Alkoxymethyl, C₁-C₄-Alkoxyethyl, (C₁-C₄-Alkyl)₂N-methyl oder -ethyl, Phenyl, Methylphenyl, Methoxyphenyl, Phenoxy, 2-Anisyl, Benzyl oder Benzyloxy.

Einige Beispiele für monovalente Heterokohlenwasserstoffreste sind C₁-C₈-Alkoxy-C₂-C₄-alkyl, (C₁-C₄-Alkyl)₂N-C₂-C₄-alkyl, C₅-C₇-Cycloalkoxy-C₂-C₄-alkyl, C₄-C₁₀-(Hetero)Aryloxy-C₂-C₄-alkyl, C₄-C₇-Heterocycloalkyl-C₁-C₄-alkyl, C₄-C₁₀-Heteroaryl-C₁-C₄-alkyl, Einige spezifische Methoxyethyl, Ethoxyethyl, Dimethylaminoethyl, Diethylaminoethyl, Cyclohexyloxyethyl, Phenoxyethyl, N-Methylmorpholinylmethyl oder -ethyl, N-Methylpiperidinylmethyl oder -ethyl, Pyridinylmethyl oder -ethyl, und Pyrrolidinylmethyl oder -ethyl.

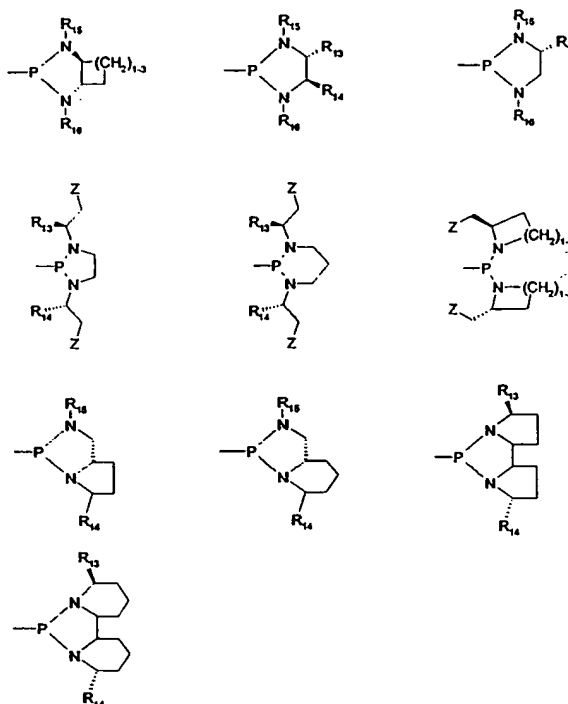
Bivalente Kohlenwasserstoffreste, die an je X₁ und X₂ gebunden sind und X₁ und X₂ je N bedeuten und mit dem N-Atom einen 4 bis 7-gliedrigen Ring bilden, können 2 bis 8, bevorzugt 2 bis 6, und bevorzugter 2 bis 4 C-Atome enthalten und sind bevorzugt lineares oder verzweigtes, unsubstituiertes oder substituiertes Alkyl, an das gegebenenfalls aliphatische oder aromatische Ringe kondensiert sind. Die Kohlenwasserstoffkette kann mit O-Atomen und oder -N(C₁-C₄-Alkyl) unterbrochen sein. Beispiele für bivalente Kohlenwasserstoffreste sind Trimethylen, Tetramethylen, Pentamethylen, -(CH₂)₂-O-(CH₂)₂-, -(CH₂)₂-N(CH₃)-(CH₂)₂-,

Bivalente Kohlenwasserstoffreste bilden zusammen mit den Atomen, an die sie gebunden sind, einen heterocyclischen Ring. Wenn eine chirale Induktion erzielt werden soll, zum Beispiel bei Ferrocenen, dann sind die Kohlenwasserstoffreste bevorzugt in α - oder β -Stellung zu X_1 und/oder X_2 substituiert, zum Beispiel mit C_1 - C_4 -Alkyl, C_1 - C_4 -Alkoxy, C_1 - C_4 -Alkoxy-methyl, C_1 - C_4 -Alkoxyethyl, $-N(C_1-C_4-Alkyl)$, $(C_1-C_4-Alkyl)_2N$ -methyl oder -ethyl, Phenyl, 2-Anisyl oder Benzyl substituiert. Wenn beide N-Atome mit zwei bivalenten Resten überbrückt sind, so leiten sich diese Reste von zyklischen Diaminen ab, zum Beispiel Piperazin.

Bivalente Kohlenwasserstoffreste, die an X_1 und X_2 gebunden sind und X_1 und X_2 je N bedeuten, leiten sich vorzugsweise von 1,2- oder 1,3-Diaminen ab, wobei eine Aminogruppe Teil eines Ringes sein kann. Es kann sich um lineares oder verzweigtes 1,2- oder 1,3- C_2 - C_{12} -Alkylen, bevorzugt 1,2- oder 1,3- C_2 - C_8 -Alkylen und besonders bevorzugt 1,2- oder 1,3- C_2 - C_4 -Alkylen, 1,2- oder 1,3- C_3 - C_8 - und bevorzugt 1,2- oder 1,3- C_4 - C_6 -Cycloalkylen, 1- C_3 - C_8 -Cycloalkyl- und bevorzugt 1- C_4 - C_6 -Cycloalkyl-2-methylen oder -ethylen, C_6 - C_{14} - und bevorzugt 1,2- C_6 - C_{10} -Arylen, und C_6 - C_{10} -Aralk-1-yl-2-methylen handeln. Einige spezifische Beispiele sind Ethylen, n- und i-Propylen, n- oder i-Butylen, Cyclopropyl-1,2-en, Cyclobutyl-1,2-en, Cyclopentyl-1,2-en, Cyclohexyl-1,2-en, Cycloheptyl-1,2-en, Cyclooctyl-1,2-en, Cyclobut-1-yl-2-methylen, Cyclopent-1-yl-2-methylen, Cyclohex-1-yl-2-methylen, Cyclobut-1-yl-2-ethylen, Cyclopent-1-yl-2-ethylen, Cyclohex-1-yl-2-ethylen, 1,2-Phenylene, 1,2-Naphthylene, Phen-1-yl-2-methylen und Phen-1-yl-2-ethylen. Wenn eine chirale Induktion erzielt werden soll, zum Beispiel bei Ferrocenen, dann sind die Kohlenwasserstoffreste bevorzugt in α - und/oder β -Stellung zu X_1 und/oder X_2 substituiert, zum Beispiel mit C_1 - C_4 -Alkyl, C_1 - C_4 -Alkoxy-methyl, C_1 - C_4 -Alkoxyethyl, $-N(C_1-C_4-Alkyl)$, $(C_1-C_4-Alkyl)_2N$ -methyl oder -ethyl, Phenyl, 2-Anisyl oder Benzyl.

Bei bivalenten Kohlenwasserstoffresten, die an X_1 und X_2 gebunden sind und X_1 und X_2 je N bedeuten, kann es sich auch um 1,1'-Biphenylene, 1,1'-Binaphthylene und 1,1'-Bispyridin handeln.

Bevorzugte Phosphingruppen in Formel V entsprechen den Formeln:



worin

R_{15} und R_{16} gleich oder verschieden und bevorzugt gleich sind, und C_1 - C_4 -Alkyl, C_1 - C_4 -Alkoxyethyl, $(C_1$ - C_4 -Alkyl) $_2$ N-ethyl bedeuten,

R_{13} und R_{14} gleich oder verschieden und bevorzugt gleich sind, und H, C_1 - C_4 -Alkyl, Phenyl oder Methylphenyl darstellen, und

Z für H, C_1 - C_4 -Alkyl, C_1 - C_4 -Alkoxy, C_1 - C_4 -Alkylthio, $-N(C_1$ - C_4 -Alkyl) $_2$, Phenyl, Phenoxy, Methoxyphenyl oder Methoxyphenoxy steht.

Einige weitere Beispiele für Z sind Methyl, Ethyl, Methoxy, Ethoxy, Methylthio und Dimethylamino.

Bei der Metallierung von Aromaten handelt es sich um bekannte Reaktionen, die zum Beispiel von M. Schlosser (Editor) in *Organometallics in Synthesis*, Johnson Wiley & Sons (1994) oder in Jonathan Clayden *Organolithiums: Selectivity for Synthesis* (Tetrahedron Organic Chemistry Series), Pergamon Press (2002) beschrieben sind.

Wenigstens äquivalente Mengen bedeutet im Rahmen der Erfindung die Verwendung von 1 bis 1,2 Äquivalenten einer Magnesium-Grignardverbindung, oder einem aliphatischen Li-Se-

- 17 -

kundäramid oder $X_3\text{Mg}$ -Sekundäramid pro reagierender $=\text{CH}$ -Gruppe im Cyclopentadienylring.

Die Reaktion wird zweckmässig bei niedrigen Temperaturen durchgeführt, zum Beispiel 20 bis -100°C , bevorzugt 0 bis -80°C . Die Reaktionszeit beträgt etwa von 2 bis zu 5 Stunden. Die Reaktion wird vorteilhaft unter einem inerten Schutzgas durchgeführt, zum Beispiel Stickstoff oder Edelgasen wie Argon.

Die Reaktion wird vorteilhaft in Gegenwart von inerten Lösungsmitteln durchgeführt. Solche Lösungsmittel können alleine oder als Kombination aus wenigstens zwei Lösungsmitteln eingesetzt werden. Beispiele für Lösungsmittel sind aliphatische, cycloaliphatische und aromatische Kohlenwasserstoffe sowie offenkettige oder cyclische Ether. Spezifische Beispiele sind Petrolether, Pentan, Hexan, Heptan, Cyclohexan, Methylcyclohexan, Benzol, Toluol, Xylol, Diethylether, Dibutylether, Tertiärbutylmethylether, Ethylenglykoldimethyl- oder -diethylether, Tetrahydrofuran und Dioxan.

Verbindungen der Formel V sind bekannt oder nach bekannten beziehungsweise analogen Verfahren herstellbar. Man geht von zum Beispiel mono-lithierten Ferrocenen aus, die man mit Monohalogenphosphinen der Formel $X_5\text{P}(X_1)X_2$, worin X_5 bevorzugt Cl oder Br bedeutet, X_1 und X_2 O oder N bedeuten, und an die freien Bindungen von X_1 - und X_2 - ein Kohlenwasserstoffrest gebunden ist, umsetzt. Im Anschluss an die Reaktion kann in an sich bekannter Weise das Boran BH_3 , wenn dessen Anwesenheit gewünscht ist, eingeführt werden, zum Beispiel durch Umsetzung der Reaktionsmischung mit einem Borankomplex wie $\text{BH}_3\cdot\text{S}(\text{CH}_3)_2$. Monohalogenphosphine der Formel $X_5\text{P}(X_1)X_2$ sind bekannt oder aus Phosphortrichlorid durch Umsetzung mit Alkoholen, Diolen, Aminen, Aminoalkoholen oder Diaminen in an sich bekannter Weise erhältlich.

In Verfahrensstufe b) verwendete Disekundäramino-phosphinhalogenide und Dialkoxyphosphinhalogenide sowie die Disekundäramino-phosphin(O)halogenide und Dialkoxyphosphin(O)halogenide sind bevorzugt $[(\text{C}_1\text{-C}_4\text{-Alkyl})_2\text{N}]_2\text{P-X}_5$, $(\text{C}_1\text{-C}_4\text{-AlkylO})_2\text{P-X}_5$, $[(\text{C}_1\text{-C}_4\text{-Alkyl})_2\text{N}]_2\text{P(O)-X}_5$ und $(\text{C}_1\text{-C}_4\text{-AlkylO})_2\text{P(O)-X}_5$ worin X_5 für Br und bevorzugt für Cl steht. Einige Beispiele für Alkyl sind Methyl, Ethyl und Propyl, wobei Methyl besonders bevorzugt ist. Disekundäramino-phosphinhalogenide und Dialkoxyphosphinhalogenide können mit Boran geschützt sein. Die Reaktionsbedingungen sind analog oder ähnlich zu den für Verfahrensstufe a) zuvor beschriebenen Bedingungen.

Die Umsetzungen in den Verfahrensstufen b1, b2, c1, c2, d1 und d2 sind an sich bekannt. Die Entfernung der Borangruppe erst in der letzten Reaktionsstufe bietet den Vorteil, dass reaktionsempfindliche Gruppen geschützt bleiben.

Die Abspaltung der Borangruppe kann zum Beispiel durch Zugabe von Reagenzien wie zum Beispiel sekundären Aminen mit C₁-C₄-Alkylgruppen, Morpholin, 1,8-Diazabicyclo[5.4.0]-undec-7-en (DBU), 1,4-Diazabicyclo[2.2.2]-octan zur gelösten Verbindung der Formel III, ausreichend langes Rühren bei Temperaturen von 20 bis 100 °C, und Entfernen der flüchtigen Bestandteile vorteilhaft im Vakuum erfolgen. Methoden für das Entfernen von Boran sind zum Beispiel von M. Ohff et al. in Synthesis (1998), Seite 1391 beschrieben.

Die Bildung von -PCl₂-Gruppe oder -PBr₂-Gruppen ist ebenfalls bekannt und zum Beispiel von A. Longeau et al. in Tetrahedron: Asymmetry, 8 (1997) Seiten 987-990 beschrieben. Als Reagenz verwendet man zweckmässig organische Lösungen von HCl oder HBr in zum Beispiel Ethern, die man bei niedrigen Temperaturen (zum Beispiel -20 bis 30 °C) zu gelösten Verbindungen der Formel VII, IX oder XI mit oder ohne Borangruppe gibt.

-PCl₂-Gruppen oder -PBr₂-Gruppen können in an sich bekannter Weise hydriert werden, wie zum Beispiel mit Metallhydriden wie LiH, NaH, KH, Li(AlH₄) NaBH₄. Die Reaktion wird vorteilhaft in Gegenwart von Lösungsmitteln und bei Temperaturen von -80 °C bis 50 °C vorgenommen. Die erhaltenen primären Phosphine können isoliert oder direkt weiter umgesetzt werden.

Die Umsetzung mit einem Sekundärphosphin-halogenid gemäss Verfahrensstufe c) ist an sich bekannt und in den Beispielen beschrieben. Die Reaktionsbedingungen sind analog oder ähnlich zu den für Verfahrensstufe a) zuvor beschriebenen Bedingungen.

Die Umsetzung einer Verbindung der Formel VI mit einem Halogenierungsreagenz gemäss Verfahrensstufe d) ist ebenfalls bekannt. Als Halogenierungsreagenzien eignen sich zum Beispiel Cl₂, Br₂, I₂, Interhalogene wie ClBr, BrI, oder polyhalogenierte aliphatische Kohlenwasserstoffe wie CF₃Br, Hexachlorethan, BrCF₂-CF₂Br oder 1,1,2,2-Tetrabromethan. Die Reaktionstemperatur kann -40 °C bis 50 °C betragen. Geeignete Lösungsmittel sind zuvor für Verfahrensstufe a) erwähnt worden. Die erhaltenen halogenierten Verbindungen können isoliert oder direkt weiter umgesetzt werden.

Umsetzungen mit einem metallierten Sekundärphosphid gemäss Verfahrensstufen d3) sind ebenfalls bekannt. Bevorzugtes Metall ist Lithium.

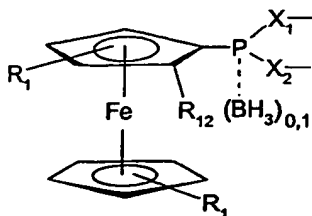
Die Reaktion der Verfahrensstufe f) ist an sich bekannt und kann ähnlich wie Verfahrensstufe c) durchgeführt werden.

Umsetzungen primärer Phosphine mit zyklischen Sulfaten sind ebenfalls beschrieben, siehe M. J. Burk, J. Amer. Chem. Soc., 1991, 113, 8518-9, M. J. Burk, Acc. Chem. Res., 2000, 33, 363-72 und U. Behrens, M. J. Burk, A. Gerlach, W. Hems, Angew. Chemie, int. Ed., 2000, 112, 2057-2060. Zyklische Sulfate sind bekannt oder können nach analogen Verfahren hergestellt werden. Die Reaktion wird in Lösung durchgeführt, zum Beispiel Ethern. Vorteilhaft werden äquimolare Mengen starker Basen mitverwendet, zum Beispiel Li-Sekundäramide wie Lithiumdiisopropylamid. Umsetzungen mit offenkettigen Disulfonaten sind ebenfalls bekannt und zum Beispiel von T. V. RajanBabu et al., J. Amer. Chem. Soc. 2001, 123, Seiten 10207 bis 10213. Einige Beispiele für Sulfonate sind Di-phenylsulfonate, Di-tosylate, Di-mesylate, Di-trifluormethylsulfonate von offenkettigen Diolen.

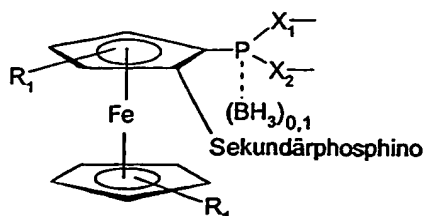
Die Isolierung und Reinigung der erfindungsgemässen Ferrocendiphosphine kann nach an sich bekannten Verfahren vorgenommen werden, zum Beispiel Fällung und Filtration oder Extraktion. Eine Reinigung kann durch Destillation, Umkristallisation oder mit chromatographischen Methoden vorgenommen werden.

Die erfindungsgemässen Ferrocendiphosphine werden trotz der räumlich beanspruchenden zyklischen Sekundärphosphingruppen in überraschend hohen Ausbeuten erhalten, und häufig wird überwiegend ein Diastereomeres gebildet.

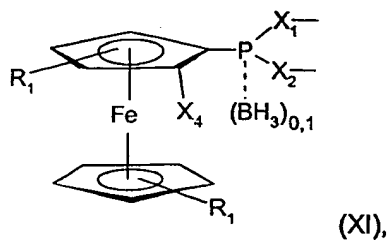
Gegenstand der Erfindung sind auch die beim erfindungsgemässen Verfahren durchlaufenden Zwischenprodukte der Formeln VII, IX und XI,



(VII),

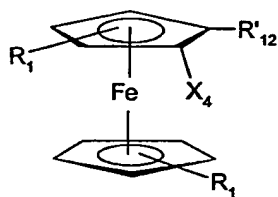
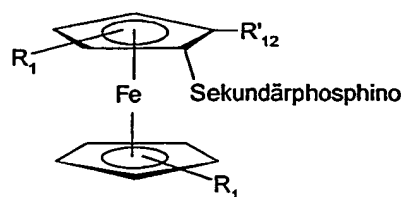
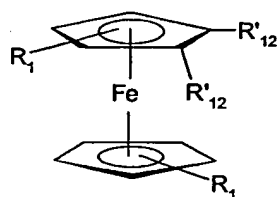


(IX) und



worin R_1 , X_1 , X_2 , R_{12} und X_2 die zuvor angegebenen Bedeutungen haben, einschliesslich der Bevorzugungen.

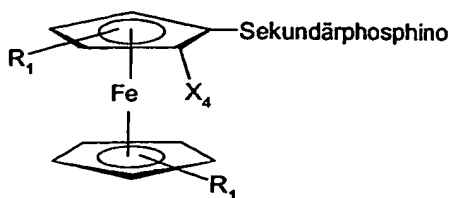
Ein weiter Gegenstand der Erfindung sind Verbindungen der Formeln VIII, X und XII,



worin

R'_{12} für $-PCl_2$, $-PBr_2$ oder $-PH_2$ steht, und R_1 und X_4 die zuvor angegebenen Bedeutungen haben, einschliesslich der Bevorzugungen.

Ein anderer Gegenstand der Erfindung sind Verbindungen der Formel XIII



worin

R_1 und X_4 die zuvor angegebenen Bedeutungen haben, einschliesslich der Bevorzugungen, und Sekundärphosphino zyklisches Sekundärphosphino darstellt.

Die erfindungsgemässen Verbindungen der Formel I sind Liganden für Metallkomplexe ausgewählt aus der Gruppe der TM8-Metalle, besonders aus der Gruppe Ru, Rh und Ir, die hervorragende Katalysatoren oder Katalysatorvorläufer für asymmetrische Synthesen, zum Beispiel die asymmetrische Hydrierung von prochiralen, ungesättigten, organischen Verbindungen darstellen. Werden prochirale ungesättigte organische Verbindungen eingesetzt, kann ein sehr hoher Überschuss optischer Isomere bei der Synthese organischer Verbindungen induziert und ein hoher chemischer Umsatz in kurzen Reaktionszeiten erzielt werden. Die erzielbaren Enantioselektivitäten und Katalysatoraktivitäten sind ausgezeichnet.

Ein weiterer Gegenstand der Erfindung sind Metallkomplexe von Metallen ausgewählt aus der Gruppe der TM8-Metalle mit Verbindungen der Formeln I als Liganden.

Als Metalle kommen zum Beispiel Cu, Ag, Au, Ni, Co, Rh, Pd, Ir, Ru und Pt in Frage. Bevorzugte Metalle sind Rhodium und Iridium sowie Ruthenium, Platin und Palladium.

Besonders bevorzugte Metalle sind Ruthenium, Rhodium und Iridium.

Die Metallkomplexe können je nach Oxidationszahl und Koordinationszahl des Metallatoms weitere Liganden und/oder Anionen enthalten. Es kann sich auch um kationische Metallkomplexe handeln. Solche analoge Metallkomplexe und deren Herstellung sind vielfach in der Literatur beschrieben.

Die Metallkomplexe können zum Beispiel den allgemeinen Formeln XIV und XV entsprechen,



worin A_1 für eine Verbindung der Formel I steht,

L für gleiche oder verschiedene monodentate, anionische oder nicht-ionische Liganden steht, oder zwei L für gleiche oder verschiedene bidentate, anionische oder nicht-ionische Liganden steht;

n für 2, 3 oder 4 steht, wenn L einen monodentaten Liganden bedeutet, oder n für 1 oder 2 steht, wenn L einen bidentaten Liganden bedeutet;

z für 1, 2 oder 3 steht;

Me ein Metall ausgewählt aus der Gruppe Rh, Ir und Ru bedeutet; wobei das Metall die Oxidationsstufen 0, 1, 2, 3 oder 4 aufweist;

E⁻ das Anion einer Sauerstoffsäure oder Komplexsäure ist; und

die anionischen Liganden die Ladung der Oxidationsstufen 1, 2, 3 oder 4 des Metalls ausgleichen.

Für die Verbindungen der Formeln I gelten die zuvor beschriebenen Bevorzugungen und Ausführungsformen.

Monodentate nicht-ionische Liganden können zum Beispiel ausgewählt sein aus der Gruppe der Olefine (zum Beispiel Ethylen, Propylen), Allyle (Allyl, 2-Methallyl), solvatisierenden Lösungsmitteln (Nitrile, lineare oder cyclische Ether, gegebenenfalls N-alkylierte Amide und Lactame, Amine, Phosphine, Alkohole, Carbonsäureester, Sulfonsäureester), Stickstoffmonoxid und Kohlenmonoxid.

Monodentate anionische Liganden können zum Beispiel ausgewählt sein aus der Gruppe Halogenid (F, Cl, Br, I), Pseudohalogenid (Cyanid, Cyanat, Isocyanat) und Anionen von Carbonsäuren, Sulfonsäuren und Phosphonsäuren (Carbonat, Formiat, Acetat, Propionat, Methylsulfonat, Trifluormethylsulfonat, Phenylsulfonat, Tosylat).

Bidentate nicht-ionische Liganden können zum Beispiel ausgewählt sein aus der Gruppe der linearen oder cyclischen Diolefine (zum Beispiel Hexadien, Cyclooctadien, Norbornadien), Dinitrile (Malondinitril), gegebenenfalls N-alkylierte Carbonsäurediamide, Diaminen, Diphosphinen, Diolen, Acetonylacetone, Dicarbonsäurediester und Disulfonsäurediester.

Bidentate anionische Liganden können zum Beispiel ausgewählt sein aus der Gruppe der Anionen von Dicarbonsäuren, Disulfonsäuren und Diphosphonsäuren (zum Beispiel von Oxalsäure, Malonsäure, Bernsteinsäure, Maleinsäure, Methylendisulfonsäure und Methylendiphosphonsäure).

Bevorzugte Metallkomplexe sind auch solche, worin E für Cl^- , Br^- , I^- , ClO_4^- , CF_3SO_3^- , CH_3SO_3^- , HSO_4^- , $(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2\text{N}^-$, $(\text{CF}_3\text{SO}_2)_3\text{C}^-$, Tetraarylborate wie zum Beispiel $\text{B}(\text{Phenyl})_4^-$, $\text{B}[\text{Bis}(3,5\text{-trifluormethyl})\text{phenyl}]_4^-$, $\text{B}[\text{Bis}(3,5\text{-dimethyl})\text{phenyl}]_4^-$, $\text{B}(\text{C}_6\text{F}_5)_4^-$ und $\text{B}(4\text{-Methylphenyl})_4^-$, BF_4^- , PF_6^- , SbCl_6^- , AsF_6^- oder SbF_6^- steht.

Insbesondere bevorzugte Metallkomplexe, die besonders für Hydrierungen geeignet sind, entsprechen den Formeln XIII und XIV,



worin

A_1 für eine Verbindung der Formel I steht;

Me_2 Rhodium oder Iridium bedeutet;

Y für zwei Olefine oder ein Dien steht;

Z Cl, Br oder I bedeutet; und

E_1^- das Anion einer Sauerstoffsäure oder Komplexsäure darstellt.

Für die Verbindungen der Formel I gelten die zuvor beschriebenen Ausführungsformen und Bevorzugungen.

Bei Y in der Bedeutung als Olefin kann es sich um C_2 - C_{12} -, bevorzugt C_2 - C_6 - und besonders bevorzugt C_2 - C_4 -Olefine handeln. Beispiele sind Propen, But-1-en und besonders Ethylen. Das Dien kann 5 bis 12 und bevorzugt 5 bis 8 C-Atome enthalten und es kann sich um offenkettige, cyclische oder polycyclische Diene handeln. Die beiden Olefingruppen des Diens sind bevorzugt durch ein oder zwei CH_2 -Gruppen verbunden. Beispiele sind 1,3-Pentadien, Cyclopentadien, 1,5-Hexadien, 1,4-Cyclohexadien, 1,4- oder 1,5-Heptadien, 1,4- oder 1,5-Cycloheptadien, 1,4- oder 1,5-Octadien, 1,4- oder 1,5-Cyclooctadien und Norbornadien. Bevorzugt stellt Y zwei Ethylen oder 1,5-Hexadien, 1,5-Cyclooctadien oder Norbornadien dar.

In Formel XVI steht Z bevorzugt für Cl oder Br. Beispiele für E_1 sind BF_4^- , ClO_4^- , $CF_3SO_3^-$, $CH_3SO_3^-$, HSO_4^- , $B(Phenyl)_4^-$, $B[Bis(3,5-trifluormethyl)phenyl]_4^-$, PF_6^- , $SbCl_6^-$, AsF_6^- oder SbF_6^- .

Die erfindungsgemässen Metallkomplexe werden nach in der Literatur bekannten Methoden hergestellt (siehe auch US-A-5,371,256, US-A-5,446,844, US-A-5,583,241, und E. Jacobsen, A. Pfaltz, H. Yamamoto (Eds.), Comprehensive Asymmetric Catalysis I bis III, Springer Verlag, Berlin, 1999, und darin zitierte Literatur).

Die erfindungsgemässen Metallkomplexe stellen homogene Katalysatoren oder unter den Reaktionsbedingungen aktivierbare Katalysatorvorläufer dar, die für asymmetrische Additionsreaktionen an prochirale, ungesättigte, organische Verbindungen eingesetzt werden können.

Die Metallkomplexe können zum Beispiel zur asymmetrischen Hydrierung (Addition von Wasserstoff) von prochiralen Verbindungen mit Kohlenstoff/Kohlenstoff- oder Kohlenstoff-/Heteroatommehrfach-, insbesondere -doppelbindungen verwendet werden. Derartige Hydrierungen mit löslichen homogenen Metallkomplexen sind zum Beispiel in Pure and Appl. Chem., Vol. 68, No. 1, pp. 131-138 (1996) beschrieben. Bevorzugte zu hydrierende ungesättigte Verbindungen enthalten die Gruppen C=C, C=N und/oder C=O. Für die Hydrierung werden erfindungsgemäss bevorzugt Metallkomplexe von Rhodium und Iridium verwendet.

Die erfindungsgemässen Metallkomplexe können auch als Katalysatoren zur asymmetrischen Hydroborierung (Addition von Borhydriden) von prochiralen organischen Verbindungen mit Kohlenstoff/Kohlenstoffdoppelbindungen eingesetzt werden. Derartige Hydroborierungen sind zum Beispiel von Tamio Hayashi in E. Jacobsen, A. Pfaltz, H. Yamamoto (Eds.), Comprehensive Asymmetric Catalysis I bis III, Springer Verlag, Berlin, 1999, Seiten 351 bis 364 beschrieben. Geeignete Borhydride sind zum Beispiel Katecholborane. Die chiralen Borverbindungen können in Synthesen eingesetzt und/oder in an sich bekannter Weise zu anderen chiralen organischen Verbindungen umgesetzt werden, die wertvolle Bausteine für die Herstellung chiraler Zwischenprodukte oder Aktivsubstanzen darstellen. Ein Beispiel für eine solche Umsetzung ist die Herstellung von 3-Hydroxy-tetrahydrofuran (gemäss DE 198 07 330).

Die erfindungsgemässen Metallkomplexe können auch als Katalysatoren zur asymmetrischen Hydrosilylierung (Addition von Silanen) von prochiralen organischen Verbindungen mit Kohlenstoff/Kohlenstoff- oder Kohlenstoffheteroatomdoppelbindungen eingesetzt werden. Derartige Hydrosilylierungen sind zum Beispiel von G. Pioda und A. Togni in Tetrahedron: Asymmetry, 1998, 9, 3093 oder von S. Uemura, et al. in Chem. Commun. 1996, 847 beschrieben. Geeignete Silane sind zum Beispiel Trichlorsilan oder Diphenylsilan. Zur Hydrosilylierung von zum Beispiel C=O- und C=N-Gruppen verwendet man bevorzugt Metallkomplexe von Rhodium und Iridium. Zur Hydrosilylierung von zum Beispiel C=C-Gruppen verwendet man bevorzugt Metallkomplexe von Palladium. Die chiralen Silylverbindungen können in Synthesen eingesetzt und/oder in an sich bekannter Weise zu anderen chiralen

organischen Verbindungen umgesetzt werden, die wertvolle Bausteine für die Herstellung chiraler Zwischenprodukte oder Aktivsubstanzen darstellen. Beispiele für solche Umsetzungen sind die Hydrolyse zu Alkoholen.

Die erfindungsgemässen Metallkomplexe können auch als Katalysatoren für asymmetrische allylische Substitutionsreaktionen (Addition von C-Nukleophilen an Allylverbindungen) eingesetzt werden. Derartige Allylierungen sind zum Beispiel von A. Pfaltz und M. Lautens in E. Jacobsen, A. Pfaltz, H. Yamamoto (Eds.), *Comprehensive Asymmetric Catalysis I bis III*, Springer Verlag, Berlin, 1999, Seiten 833 bis 884 beschrieben. Geeignete Vorläufer für Allylverbindungen sind zum Beispiel 1,3-Diphenyl-3-acetoxy-1-propen oder 3-Acetoxy-1-cyclohexen. Für diese Reaktion verwendet man bevorzugt Metallkomplexe von Palladium. Die chiralen Allylverbindungen können in Synthesen zur Herstellung von chiralen Zwischenprodukten oder Aktivsubstanzen eingesetzt werden.

Die erfindungsgemässen Metallkomplexe können auch als Katalysatoren zur asymmetrischen Aminierung (Addition von Aminen an Allylverbindungen oder in asymmetrischen, Heck-Reaktionen eingesetzt werden. Derartige Aminierungen sind zum Beispiel von A. Pfaltz und M. Lautens in E. Jacobsen, A. Pfaltz, H. Yamamoto (Eds.), *Comprehensive Asymmetric Catalysis I bis III*, Springer Verlag, Berlin, 1999, Seiten 833 bis 884, Heck-Reaktionen von O. Loiseleur et al. im *Journal of Organometallic Chemistry* 576 (1999), Seiten 16 bis 22, beschrieben. Geeignete Amine sind neben Ammoniak primäre und sekundäre Amine. Zur Aminierung der Allylverbindungen verwendet man bevorzugt Metallkomplexe von Palladium. Die chiralen Amine können in Synthesen zur Herstellung von chiralen Zwischenprodukten oder Aktivsubstanzen eingesetzt werden.

Ein weiterer Gegenstand der Erfindung ist die Verwendung der erfindungsgemässen Metallkomplexe als homogene Katalysatoren zur Herstellung chiraler organischer Verbindungen durch asymmetrische Anlagerung von Wasserstoff, Borhydriden oder Silanen an eine Kohlenstoff- oder Kohlenstoff-Heteroatommehrachbindung in prochiralen organischen Verbindungen, oder die asymmetrische Addition von C-Nukleophilen oder Aminen an Allylverbindungen.

Ein weiterer Aspekt der Erfindung ist ein Verfahren zur Herstellung chiraler organischer Verbindungen durch asymmetrische Anlagerung von Wasserstoff, Borhydriden oder Silanen an eine Kohlenstoff- oder Kohlenstoff-Heteroatommehrachbindung in prochiralen organischen

Verbindungen, oder die asymmetrische Addition von C-Nukleophilen oder Amine an Allylverbindungen in Gegenwart eines Katalysators, das dadurch gekennzeichnet ist, dass man die Anlagerung in Gegenwart katalytischer Mengen wenigstens eines erfindungsgemässen Metallkomplexes durchführt.

Bevorzugte zu hydrierende prochirale, ungesättigte Verbindungen können ein oder mehrere, gleiche oder verschiedene Gruppen C=C, C=N und/oder C=O, in offenkettigen oder cyclischen organischen Verbindungen enthalten, wobei die Gruppen C=C, C=N und/oder C=O Teil eines Ringsystems sein können oder exocyclische Gruppen darstellen. Bei den prochiralen ungesättigten Verbindungen kann es sich um Alkene, Cycloalkene, Heterocycloalkene, sowie um offenkettige oder cyclische Ketone, Ketimine und Kethydrazone handeln. Sie können zum Beispiel der Formel X entsprechen,



(XVIII),

worin R_{07} und R_{08} so ausgewählt sind, dass die Verbindung prochiral ist, und unabhängig voneinander einen offenkettigen oder cyclischen Kohlenwasserstoffrest oder Heterokohlenwasserstoffrest mit Heteroatomen, ausgewählt aus der Gruppe O, S und N darstellen, die 1 bis 30 und bevorzugt 1 bis 20 C-Atome enthalten;

D für O oder einen Rest der Formeln $C=R_{09}R_{010}$ oder NR_{011} steht;

R_{09} und R_{010} unabhängig voneinander die gleiche Bedeutung wie R_{07} und R_{08} haben,

R_{011} Wasserstoff, C_1 - C_{12} -Alkyl, C_1 - C_{12} -Alkoxy, C_3 - C_{12} -Cycloalkyl, C_3 - C_{12} -Cycloalkyl- C_1 - C_6 -Alkyl, C_3 - C_{11} -Heterocycloalkyl, C_3 - C_{11} -Heterocycloalkyl- C_1 - C_6 -Alkyl, C_6 - C_{14} -Aryl, C_5 - C_{13} -Hetero-aryl, C_7 - C_{16} -Aralkyl oder C_6 - C_{14} -Heteroaralkyl bedeutet,

R_{07} und R_{08} zusammen mit dem C-Atom, an das sie gebunden sind, einen Kohlenwasserstoffring oder Heterokohlenwasserstoffring mit 3 bis 12 Ringgliedern bilden;

R_{07} und R_{08} je zusammen mit der C=C-Gruppe, an die sie gebunden sind, einen Kohlenwasserstoffring oder Heterokohlenwasserstoffring mit 3 bis 12 Ringgliedern bilden;

R_{07} und R_{011} je zusammen mit der C=N-Gruppe, an die sie gebunden sind, einen

Kohlenwasserstoffring oder Heterokohlenwasserstoffring mit 3 bis 12 Ringgliedern bilden;

die Heteroatome in den heterocyclischen Ringen ausgewählt sind aus der Gruppe O, S und N;

und R_{07} , R_{08} , R_{09} , R_{010} und R_{011} unsubstituiert oder mit C_1 - C_6 -Alkyl, C_1 - C_6 -Alkoxy, Cyclohexyl, C_6 - C_{10} -Aryl, C_7 - C_{12} -Aralkyl, C_1 - C_4 -Alkyl- C_6 - C_{10} -Aryl, C_1 - C_4 -Alkoxy- C_6 - C_{10} -Aryl, C_1 - C_4 -Alkyl- C_7 - C_{12} -Aralkyl, C_1 - C_4 -Alkoxy- C_7 - C_{12} -Aralkyl, -OH, =O, -CO-OR₀₁₂, -CO-NR₀₁₃R₀₁₄ oder

-NR₀₁₃R₀₁₄ substituiert sind, worin R₀₁₂ für H, ein Alkalimetall, C₁-C₆-Alkyl, Cyclohexyl, Phenyl oder Benzyl steht, und R₀₁₃ und R₀₁₄ unabhängig voneinander Wasserstoff, C₁-C₆-Alkyl, Cyclohexyl, Phenyl oder Benzyl darstellen, oder R₀₁₃ und R₀₁₄ zusammen Tetramethylen, Pentamethylen oder 3-Oxapentylen bedeuten.

Beispiele und Bevorzugungen für Substituenten sind zuvor genannt worden.

Bei R₀₇ und R₀₈ kann es sich zum Beispiel um C₁-C₂₀-Alkyl und bevorzugt C₁-C₁₂-Alkyl, C₁-C₂₀-Heteroalkyl und bevorzugt C₁-C₁₂-Heteroalkyl mit Heteroatomen ausgewählt aus der Gruppe O, S und N, C₃-C₁₂-Cycloalkyl und bevorzugt C₄-C₈-Cycloalkyl, C-gebundenes C₃-C₁₁-Heterocycloalkyl und bevorzugt C₄-C₈-Heterocycloalkyl mit Heteroatomen ausgewählt aus der Gruppe O, S und N, C₃-C₁₂-Cycloalkyl-C₁-C₆-Alkyl und bevorzugt C₄-C₈-Cycloalkyl-C₁-C₆-Alkyl, C₃-C₁₁-Heterocycloalkyl-C₁-C₆-Alkyl und bevorzugt C₄-C₈-Heterocycloalkyl-C₁-C₆-Alkyl mit Heteroatomen ausgewählt aus der Gruppe O, S und N, C₆-C₁₄-Aryl und bevorzugt C₆-C₁₀-Aryl, C₅-C₁₃-Heteroaryl und bevorzugt C₅-C₉-Heteroaryl mit Heteroatomen ausgewählt aus der Gruppe O, S und N, C₇-C₁₅-Aralkyl und bevorzugt C₇-C₁₁-Aralkyl, C₆-C₁₂-Heteroaralkyl und bevorzugt C₆-C₁₀-Heteroaralkyl mit Heteroatomen ausgewählt aus der Gruppe O, S und N.

Wenn R₀₇ und R₀₈, R₀₇ und R₀₉, oder R₀₇ und R₀₁₁ je zusammen mit der Gruppe, an die sie gebunden sind, einen Kohlenwasserstoffring oder Heterokohlenwasserstoffring bilden, so enthält der Ring bevorzugt 4 bis 8 Ringglieder. Der Heterokohlenwasserstoffring kann zum Beispiel 1 bis 3, und vorzugsweise ein oder zwei Heteroatome enthalten.

R₀₁₁ bedeutet bevorzugt Wasserstoff, C₁-C₆-Alkyl, C₁-C₆-Alkoxy, C₄-C₈-Cycloalkyl, C₄-C₈-Cycloalkyl-C₁-C₄-Alkyl, C₄-C₁₀-Heterocycloalkyl, C₄-C₁₀-Heterocycloalkyl-C₁-C₄-Alkyl, C₆-C₁₀-Aryl, C₅-C₉-Heteroaryl, C₇-C₁₂-Aralkyl und C₅-C₁₃-Heteroaralkyl.

Einige Beispiele für ungesättigte organische Verbindungen sind Acetophenon, 4-Methoxyacetophenon, 4-Tri-fluormethylacetophenon, 4-Nitroacetophenon, 2-Chloracetophenon, entsprechende gegebenenfalls N-substituierte Acetophenonbenzylimine, unsubstituiertes oder substituiertes Benzocyclohexanon oder Benzocyclopentanon und entsprechende Imine, Imine aus der Gruppe unsubstituiertes oder substituiertes Tetrahydrochinolin, Tetrahydropyridin und Dihydropyrol, und ungesättigte Carbonsäuren, -ester, -amide und -salze wie zum Bei-

spiel α - und gegebenenfalls β -substituierte Acrylsäuren oder Crotonsäuren. Bevorzugte Carbonsäuren sind solche der Formel



sowie ihre Salze, Ester und Amide, worin R_{012} C_1 - C_6 -Alkyl, unsubstituiertes oder mit 1 bis 4 C_1 - C_6 -Alkyl, C_1 - C_6 -Alkoxy, C_1 - C_6 -Alkoxy- C_1 - C_4 -alkoxy substituiertes C_3 - C_8 -Cycloalkyl, oder unsubstituiertes oder mit 1 bis 4 C_1 - C_6 -Alkyl, C_1 - C_6 -Alkoxy, C_1 - C_6 -Alkoxy- C_1 - C_4 -alkoxy substituiertes C_6 - C_{10} -Aryl und bevorzugt Phenyl darstellt, und R_{013} lineares oder verzweigtes C_1 - C_6 -Alkyl (zum Beispiel Isopropyl), unsubstituiertes oder wie zuvor definiert substituiertes Cyclopentyl, Cyclohexyl, Phenyl oder geschütztes Amino (zum Beispiel Acetylamino) bedeutet.

Das erfindungsgemässe Verfahren kann bei tiefen oder erhöhten Temperaturen, zum Beispiel Temperaturen von -20 bis 150 °C, bevorzugt von -10 bis 100 °C, und besonders bevorzugt von 10 bis 80 °C durchgeführt werden. Die optischen Ausbeuten sind im allgemeinen bei tieferer Temperatur besser als bei höheren Temperaturen.

Das erfindungsgemässe Verfahren kann bei Normaldruck oder Überdruck durchgeführt werden. Der Druck kann zum Beispiel von 10^5 bis 2×10^7 Pa (Pascal) betragen. Hydrierungen können bei Normaldruck oder bei Überdruck durchgeführt werden. Bei Normaldruck werden häufig bessere Selektivitäten beobachtet.

Katalysatoren werden bevorzugt in Mengen von 0,0001 bis 10 Mol-%, besonders bevorzugt 0,001 bis 10 Mol-%, und insbesondere bevorzugt 0,01 bis 5 Mol-% verwendet, bezogen auf die zu hydrierende Verbindung.

Die Herstellung der Liganden und Katalysatoren sowie die Anlagerung können ohne oder in Gegenwart eines inerten Lösungsmittels durchgeführt werden, wobei ein Lösungsmittel oder Gemische von Lösungsmitteln eingesetzt werden können. Geeignete Lösungsmittel sind zum Beispiel aliphatische, cycloaliphatische und aromatische Kohlenwasserstoffe (Pentan, Hexan, Petrolether, Cyclohexan, Methylcyclohexan, Benzol, Toluol, Xylol), aliphatische Halogenkohlenwasserstoffe (Methylenchlorid, Chloroform, Di- und Tetrachlorethan), Nitrile (Acetonitril, Propionitril, Benzonitril), Ether (Diethylether, Dibutylether, t-Butylmethylether, Ethylenglykoldimethylether, Ethylenglykoldiethylether, Diethylenglykoldimethylether, Tetrahydrofuran, Dioxan, Diethylenglykolmonomethyl- oder monoethylether), Ketone (Aceton,

Methylisobutylketon), Carbonsäureester und Lactone (Essigsäureethyl- oder -methylester, Valerolacton), N-substituierte Lactame (N-Methylpyrrolidon), Carbonsäureamide (Dimethylamid, Dimethylformamid), acyclische Harnstoffe (Dimethylimidazolin), und Sulfoxide und Sulfone (Dimethylsulfoxid, Dimethylsulfon, Tetramethylsulfoxid, Tetramethylsulfon) und Alkohole (Methanol, Ethanol, Propanol, Butanol, Ethylenglykolmonomethylether, Ethylenglykolmonoethylether, Diethylenglykolmonomethylether) und Wasser. Die Lösungsmittel können alleine oder in Mischung von wenigstens zwei Lösungsmitteln verwendet werden.

Die Reaktion kann in Gegenwart von Cokatalysatoren durchgeführt werden, zum Beispiel quaternären Ammoniumhalogeniden (Tetrabutylammoniumiodid) und/oder in Gegenwart von Protonensäuren, zum Beispiel Mineralsäuren, durchgeführt werden (siehe zum Beispiel US-A-5,371,256, US-A-5,446,844 und US-A-5,583,241 und EP-A-0 691 949). Die Cokatalysatoren sind besonders für Hydrierungen geeignet.

Die als Katalysatoren verwendeten Metallkomplexe können als getrennt hergestellte isolierte Verbindungen zugegeben werden, oder auch in situ vor der Reaktion gebildet und dann mit dem zu hydrierenden Substrat vermischt werden. Es kann vorteilhaft sein, bei der Reaktion unter Verwendung von isolierten Metallkomplexen zusätzlich Liganden zuzugeben, oder bei der in situ Herstellung einen Überschuss der Liganden einzusetzen. Der Überschuss kann zum Beispiel 1 bis 10 und vorzugsweise 1 bis 5 Mol betragen, bezogen auf die zur Herstellung verwendete Metallverbindung.

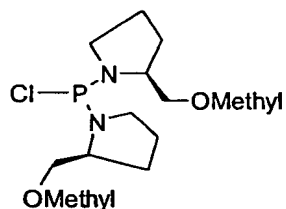
Das erfindungsgemässe Verfahren wird im allgemeinen so durchgeführt, dass man den Katalysator vorlegt und dann das Substrat, gegebenenfalls Reaktionshilfsmittel und die anzulagernde Verbindung zugibt, und danach die Reaktion startet. Gasförmige anzulagernde Verbindungen, wie zum Beispiel Wasserstoff oder Ammoniak, werden vorzugsweise aufpresst. Das Verfahren kann in verschiedenen Reaktortypen kontinuierlich oder satzweise durchgeführt werden.

Die erfindungsgemäss herstellbaren chiralen organischen Verbindungen sind aktive Substanzen oder Zwischenprodukte zur Herstellung solcher Substanzen, insbesondere im Bereich der Herstellung von Pharmazeutika und Agrochemikalien.

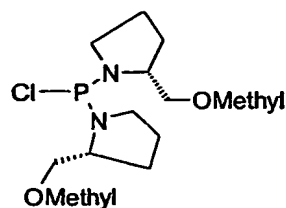
Die nachfolgenden Beispiele erläutern die Erfindung.

A) Herstellung von Halogenphosphinen

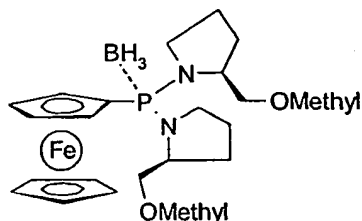
Alle Reaktionen werden in getrockneten Lösungsmitteln und unter Inertgas durchgeführt.

Beispiel A1: Herstellung von

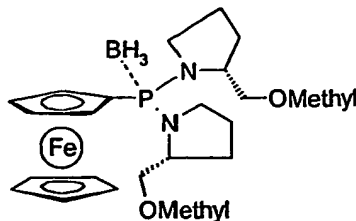
In einem 500 mL-Rundkolben mit Argoneinlass wird PCl_3 (7,38 g, 53,75 mmol) in trockenem Tetrahydrofuran (THF, 150 ml) unter Argon gelöst und die Lösung in einem Eisbad auf 0 °C gekühlt. Es wird tropfenweise Triethylamin (11,97 g, 118,25 mmol, 2,20 Äquivalente) zugegeben und im Anschluss langsam (S)-Methoxymethylpyrrolidin (12,69 g, 110,19 mmol, 2,05 Äquivalente) zugetropft. Während der Zugabe wird die Bildung eines weissen Niederschlags beobachtet. Das Eisbad wird entfernt und die erhaltene Suspension über Nacht (14 h) bei Raumtemperatur (RT) gerührt. Der gebildete weisse Niederschlag wird unter Argon mittels einer Umkehrfritte abfiltriert und mit trockenem THF (2 mal 25 ml) gewaschen. Vom erhaltenen gelblichen Filtrat wird ein ^{31}P -NMR (C_6D_6) aufgenommen. Die so gewonnene Lösung wird ohne weitere Reinigung umgesetzt. ^{31}P -NMR (C_6D_6 , 121 MHz): 154.3 (s).

Beispiel A2: Herstellung von

Es wird gemäss Beispiel A1 verfahren, aber (R)-Methoxymethylpyrrolidin verwendet.

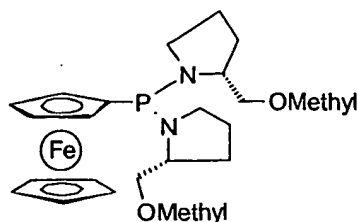
B) Herstellung von aromatischen MonophosphinenBeispiel B1: Herstellung von

In einem 1 l-Rundkolben mit Argoneinlass werden Ferrocen (10,00 g, 53,75 mmol) und Kalium-umtertiärbutylat (754 mg, 6,72 mmol, 0,125 Äquivalente) unter Argon in trockenem THF (100 ml) gelöst. Die Lösung wird auf -78 °C gekühlt und *t*-Butyllithium (1,5 M in Hexan; 71,67 ml, 107,50 mmol, 2,00 Äquivalente) wird innerhalb von 45 Minuten zugegeben. Die Lösung wird 1,5 h bei -78 °C gerührt und mit *n*-Heptan (75 ml) versetzt. Nach dem Absitzen des erhaltenen Niederschlages wird die überstehende Lösung bei -78 °C unter Argon mit einer Umdrückenadel entfernt. Der Niederschlag wird mit *n*-Heptan (60 ml) bei -78 °C gewaschen und die Waschlösung erneut mit einer Umdrückenadel entfernt. Dieser Vorgang wird dreimal wiederholt. Der erhaltene Niederschlag wird in trockenem THF (50 ml) gelöst und eine Lösung von A1 (53,75 mmol, 1,00 Äquivalente) in THF (200 ml) bei -78 °C innerhalb von 1,5 h zugegeben. Die Lösung wird über Nacht (14 h) unter Erwärmung auf RT gerührt. Im Anschluss wird tropfenweise Boran-Dimethylsulfid-Komplex (5,10 ml, 53,75 mmol, 1,00 Äquivalente) zugegeben und über Nacht bei RT gerührt. Das Reaktionsgemisch wird mit gesättigter NH₄Cl-Lösung (50 ml) hydrolysiert und mit Tertiärbutylmethylether (TBME) (3 x 100 ml) extrahiert. Die vereinigten organischen Phasen werden über Na₂SO₄ getrocknet und das Lösungsmittel am Rotationsverdampfer abdestilliert. Das Rohprodukt (24,18 g) wird säulenchromatographisch gereinigt (200 g Kieselgel, *n*-Heptan/TBME 5:1). Die Titelverbindung (17,23 g, 70 % der Theorie) wird als orange-farbener Feststoff erhalten. ³¹P-NMR (C₆D₆, 121 MHz): 80,8 (m, breit).

Beispiel B2: Herstellung von

Es wird gemäss Beispiel B1 verfahren, aber die Verbindung A2 anstelle von A1 verwendet.

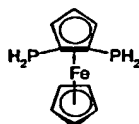
Beispiel B3: Herstellung von



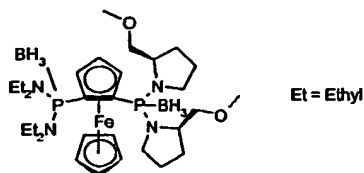
Zu einer Lösung von 4,53 g (17,1 mMol) Bromoferrocen in 15 ml THF werden bei -78°C 17,9 mMol einer 1,6 molaren *n*-Butyl-Li-Lösung in Hexan langsam zugetropft und das Gemisch 10 Minuten bei dieser Temperatur gerührt. Dann lässt man die Temperatur auf $0 - 5^{\circ}\text{C}$ ansteigen (Eiskühlung), tropft eine Lösung von 18,8 mMol der Verbindung gemäss Beispiel A2 in 78 ml THF zu und rührt das Gemisch über Nacht bei RT. Das Lösungsmittel wird anschliessend abgezogen und das Rohprodukt über eine kurze Säule (Silikagel 60 Fluka, Laufmittel TBME) gereinigt. Nach Destillation der gefärbten Fraktionen am Rotationsverdampfer wird ein oranges, beinahe festes, Öl erhalten. ^{31}P -NMR (C_6D_6 , 121 MHz): 70,7 (s).

C) Herstellung von primären Ferrocenphosphinen

Beispiel C1: Herstellung von Ferrocen-1,2-diphosphin



a) Herstellung von

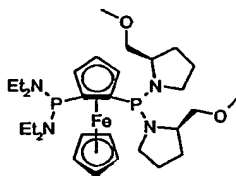


In einem 50 ml Rundkolben mit Argoneinlass wird die Verbindung gemäss Beispiel B2 (1,00 g, 2,18 mmol) in trockenem Tertiärbutylmethylether (TBME) (5,00 ml) und *n*-Hexan (5,00 ml) gelöst und die erhaltene Lösung auf -30°C gekühlt. Dabei fällt das Edukt als gelber Feststoff aus. Es wird tropfenweise *s*-Butyl-Li (1,3 M in Cyclohexan; 1,76 ml, 2,29 mmol, 1,05 Äquivalente) zugegeben. Dabei geht der gelbe Feststoff allmählich in Lösung, die Lösung färbt sich orange-rot und nach etwa 30 Minuten fällt ein orange-farbener Feststoff aus. Nach

- 33 -

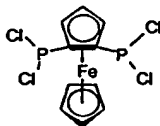
2 Stunden Rühren bei $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ wird $\text{ClP}(\text{NEt}_2)_2$ (551 mg, 2,62 mmol, 1,2 Äquivalente) zugegeben, das Kühlbad entfernt und die Suspension 2 h unter Erwärmung auf Raumtemperatur (RT) gerührt. Anschliessend wird $\text{BH}_3\cdot\text{SMe}_2$ (0,25 ml, 2,62 mmol, 1,2 Äquivalente) zugetropft und die Suspension über Nacht (14 h) bei RT gerührt. Das Reaktionsgemisch wird mit gesättigter NaCl -Lösung (50 ml) hydrolysiert, TBME (50 ml) zugegeben, die organische Phase abgetrennt und über Na_2SO_4 getrocknet. Das Lösungsmittel wird am Rotationsverdampfer abdestilliert und das Rohprodukt säulenchromatographisch gereinigt (100 g Kieselgel, n-Heptan/TBME 5:1). Die Ferrocenylverbindung (1,10 g, 1,71 mmol, 78 %) wird in Form eines orange-farbenen Feststoffes erhalten. ^{31}P -NMR (C_6D_6 , 121 MHz): 99,7-99,0 (m, br), 79,9-79,5 (m, br).

b) Herstellung von



Für das Entfernen der Borangruppe werden 1,00 g (1,87 mmol) der gemäss a) hergestellten Verbindung in 5 ml Diethylamin aufgenommen und über Nacht bei $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ gerührt. Im Anschluss werden alle flüchtigen Bestandteile im Ölpumpenvakuum bei $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ entfernt. Der erhaltene Rückstand wird dreimal in Diethylamin (je 2,00 ml) aufgenommen, für 30 Minuten bei $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ gerührt und alle flüchtigen Bestandteile bei $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ im Ölpumpenvakuum entfernt (30 Minuten). Der Rückstand wird zweimal in trockenem TBME (2 ml) aufgenommen und alle flüchtigen Bestandteile bei $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ im Ölpumpenvakuum entfernt. Zurück bleibt das entschützte Produkt, welches ohne Reinigung in Stufe c) weiterverwendet wird. ^{31}P -NMR (C_6D_6 , 121 MHz): -151 ppm.

c) Herstellung von



Das gemäss b) hergestellte Reaktionsprodukt wird in 5 ml TBME gelöst und bei $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ tropfenweise unter Rühren mit 8 mmol einer HCl -Lösung (2n in Diethylether) versetzt. Die Reaktionslösung wird anschliessend durch Dekantieren von den ausgefallenen Ammoniumver-

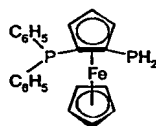
- 34 -

bindungen abgetrennt und unter Argon am Rotationsverdampfer flüchtige Bestandteile entfernt. Der Rückstand wird direkt in Stufe d) eingesetzt. ^{31}P -NMR (C_6D_6 , 121 MHz): 156.5 (s)

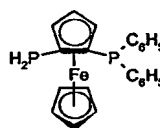
d) Herstellung der Titelverbindung

0,43 g (11,20 mmol) Lithiumaluminiumhydrid werden unter Argon in 10 ml absolutem Tetrahydrofuran (THF) suspendiert und auf -78°C gekühlt. Das gemäss c) erhaltene Rohprodukt wird in 5 ml absolutem THF gelöst und zur gekühlten Suspension des Lithiumaluminiumhydrids getropft. Das Reaktionsgemisch wird 30 Minuten bei dieser Temperatur und dann 30 Minuten bei 20°C gerührt. Zur Suspension werden 3,8 ml 2N NaOH tropfenweise zugegeben und die überstehende Lösung zur Isolierung der Titelverbindung abfiltriert und eingedampft. ^{31}P -NMR (C_6D_6 , 121 MHz): -151 ppm.

Beispiel C2: Herstellung von

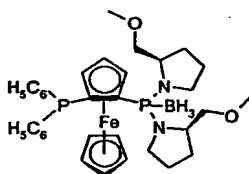


C2



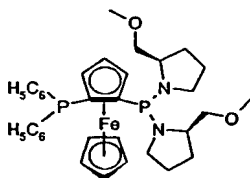
C2'

a) Herstellung von



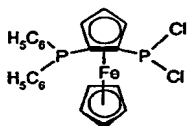
Zu einer Lösung von 4,05 g (8,80 mmol) der Verbindung gemäss Beispiel B2 in 60 ml Hexan / TBME 1:1 werden bei -40°C 9,5 mmol sekundär-Butyllithium (1,3 molar in Hexan) zuge tropft. Das Reaktionsgemisch wird während 2 Stunden bei dieser Temperatur weitergerührt. Zur resultierenden orangenen Suspension werden anschließend 9,43 mmol Chlor-diphenylphosphin gegeben. Dann läßt man das Reaktionsgemisch langsam unter Rühren auf Raumtemperatur erwärmen. Nach 2h Rühren über Nacht wird mit Wasser / Methylenchlorid extrahiert, die organischen Phasen mit Natriumsulfat getrocknet und das Lösungsmittel am Rotationsverdampfer unter Vakuum abdestilliert. Reinigung durch Säulenchromatographie (Kieselgel 60, Laufmittel Hexan / TBME 6:1) liefert das gewünschte Produkt als oranges kristallines Material in einer Ausbeute von 85%. ^{31}P -NMR (C_6D_6 , 121 MHz): -25,2 (s), +79 (s, breit). ^1H -NMR (C_6D_6 , 300 MHz), charakteristische Signale: 7,80 (m), 7,37 (m), 6,97-7,16 (m), 4,08 (s, 5H, Cyclopentadienring), 3,28 (s, 3H, O-CH₃), 3,10 (s, 3H, O-CH₃).

b) Herstellung von



Für das Entfernen der Borangruppe werden 400 mg (0,62 mmol) der gemäss a) hergestellten Verbindung in 5 ml Diethylamin aufgenommen und über Nacht bei 50 °C gerührt. Im Anschluss werden alle flüchtigen Bestandteile im Ölpumpenvakuum bei 50 °C entfernt. Der erhaltene Rückstand wird dreimal in Diethylamin (je 2,00 ml) aufgenommen, für 30 Minuten bei 50 °C gerührt und alle flüchtigen Bestandteile bei 50 °C im Ölpumpenvakuum entfernt (30 Minuten). Der Rückstand wird zweimal in trockenem TBME (2 ml) aufgenommen und alle flüchtigen Bestandteile bei 50 °C im Ölpumpenvakuum entfernt. Zurück bleibt das BH₃-freie Produkt, welches ohne Reinigung in Stufe c) weiterverwendet wird. ³¹P-NMR (C₆D₆, 121 MHz): -23,5 (d, J_{PP} ~73Hz), +69,4 (d, J_{PP} ~73Hz).

c) Herstellung von



Das gemäss b) hergestellte Reaktionsprodukt wird in 5 ml TBME gelöst und bei 0 °C tropfenweise unter Rühren mit 2,6 mmol einer HCl-Lösung (2n in Diethylether) versetzt. Die Reaktionslösung wird anschliessend durch Dekantieren von den ausgefallenen Ammoniumverbindungen abgetrennt und unter Argon am Rotationsverdampfer flüchtige Bestandteile entfernt. Der Rückstand wird direkt in Stufe d) eingesetzt. ³¹P-NMR (C₆D₆, 121 MHz): -23,6 (d, J_{PP} ~170Hz), +161,6 (d, J_{PP} ~170Hz).

d1) Herstellung der Titelverbindung C2

2 mmol Lithiumaluminiumhydrid werden unter Argon in 3 ml absolutem THF suspendiert und auf -78 °C gekühlt. Das gemäss c) hergestellte Rohprodukt wird in 3 ml absolutem THF gelöst und zur gekühlten Suspension von Lithiumaluminiumhydrid getropft. Das Reaktionsgemisch wird 30 Minuten bei dieser Temperatur und dann 30 Minuten bei 20°C gerührt. Zur Suspension werden 0,8 ml 2N NaOH tropfenweise zugegeben und die überstehende Lösung

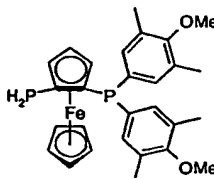
- 36 -

zur Isolierung der Titelverbindung abfiltriert und eingedampft. ^{31}P -NMR (C_6D_6 , 121 MHz): -20 (m.), -152 (m).

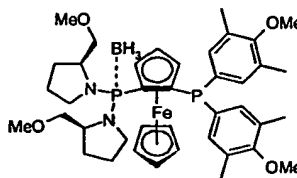
d2) Herstellung der Titelverbindung C2'

Es wird gemäss Beispiel C2 verfahren, aber im Schritt a) die Verbindung B1 anstelle von B2 verwendet.

Beispiel C3: Herstellung von

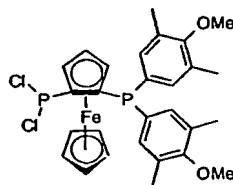


a) Herstellung von



Zu einer Lösung von 4 g (8,70 mmol) der Verbindung gemäß Beispiel B1 in 60 ml Hexan / TBME 1:1 werden bei $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 9,43 mmol sekundär-Butyllithium (1,3 molar in Hexan) zuge-
tropft. Das Reaktionsgemisch wird während 2 Stunden bei dieser Temperatur weitergerührt.
Zur resultierenden orangen Suspension werden anschließend 9,43 mmol Bis(3,5-Dimethyl-
4-methoxy-phenyl)phosphinchlorid gegeben. Dann läßt man das Reaktionsgemisch langsam
unter Rühren auf Raumtemperatur erwärmen. Nach 2 Stunden Rühren wird mit Wasser /
TBME extrahiert, die organischen Phasen mit Natriumsulfat getrocknet und das Lösungsmit-
tel am Rotationsverdampfer unter Vakuum abdestilliert. Reinigung durch Säulenchromato-
graphie liefert das gewünschte Produkt als gelbes kristallines Material in einer Ausbeute von
74%. ^{31}P -NMR (C_6D_6 , 121 MHz): -26,7 (s), +79 (s, breit). ^1H -NMR (C_6D_6 , 300 MHz), einige
charakteristische Signale: 7,71 (s, 1H), 7,68 (s, 1H), 7,25 (s, 1H), 7,23 (s, 1H), 4,17 (s, 5H,
Cyclopentadienring), 3,31 (s, 3H, O-CH₃), 3,30 (s, 3H, O-CH₃), 3,27 (s, 3H, O-CH₃), 3,11 (s,
3H, O-CH₃), 2,14 (s, 3H, CH₃), 2,11 (s, 3H, CH₃).

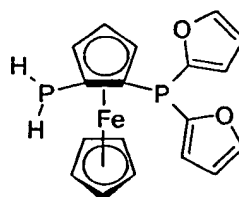
b) Herstellung von



Zu einer Lösung von 2,34 g (3,08 mmol) der Verbindung a) in 20 ml THF werden bei 0 °C langsam 18,5 mmol HCl (Lösung in Diethyläther) zugetropft. Danach wird die Kühlung entfernt und weitere 2 Stunden gerührt. Eine Probe ergibt im ^{31}P -NMR (C_6D_6 , 121 MHz) folgende Signale: 165 (PCl_2), 16 (breit, $\text{P}(\text{3,5-Dimethyl-4-methoxyphenyl})_2$ – Boranaddukt. Lässt man weniger lang reagieren, ist auch etwas freies $\text{P}(\text{3,5-Dimethyl-4-methoxyphenyl})_2$ im Bereich -28 ppm sichtbar.

c) Herstellung der Titelverbindung C3:

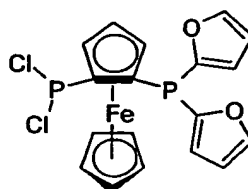
Das gemäss Stufe b) erhaltene Dichlorphosphin wird ohne Reinigung weiter umgesetzt. Nach Abkühlen auf 0 °C werden portionenweise langsam mit 30 mmol Lithiumaluminiumhydrid zugegeben. Nach 2 Stunden Rühren bei Raumtemperatur wird wieder auf 0 °C gekühlt, und es werden langsam 10 ml Wasser zugetropft. Zur resultierenden grauen Suspension wird Natriumsulfat zugegeben. Es scheidet sich eine organische Phase ab. Diese wird abgetrennt und das Gemisch mehrmals mit Heptan gewaschen. Die organischen Phasen werden vereinigt und mit Natriumsulfat getrocknet. Nach Abdestillieren des Lösungsmittels unter Vakuum wird das Rohprodukt in TBME gelöst und zur Entfernung von Boran in Gegenwart von Diethanolamin während mehreren Stunden bei 50 °C gerührt. Das TBME wird anschliessend mit Wasser, 1n HCl und nochmals mit Wasser gewaschen, über Natriumsulfat getrocknet und schliesslich am Vakuum abdestilliert. Das gewünschte Produkt wird in guter Ausbeute als rotes Öl erhalten und ohne Reinigung weiterverwendet. ^{31}P -NMR (C_6D_6 , 121 MHz): -152 (d, PH_2), -22 (d, $\text{P}(\text{3,5-Dimethyl-4-methoxyphenyl})_2$). ^1H -NMR (C_6D_6 , 300 MHz), einige charakteristische Signale: 7,52 (s, 1H), 7,49 (s, 1H), 7,19 (s, 1H), 7,16 (s, 1H), 4,04 (s, 5H, Cyclopentadienring), 3,33 (s, 3H, O- CH_3), 3,27 (s, 3H, O- CH_3), 3,15 (s, 3H, O- CH_3), 2,88 (s, 3H, O- CH_3), 2,14 (s, 3H, CH_3), 2,08 (s, 3H, CH_3).

Beispiel C4: Herstellung von

a) Herstellung von

Zu einer Lösung von 4 g (8,70 mmol) der Verbindung gemäss Beispiel B1 in 60 ml Hexan / TBME 1:1 werden bei $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 9,43 mmol sekundär-Butyllithium (1,3 molar in Hexan) zuge-
tropft. Das Reaktionsgemisch wird während 2 Stunden bei dieser Temperatur weitergerührt. Zur resultierenden orangen Suspension werden anschließend 9,43 mmol Difuryl-phosphin-
chlorid gegeben. Dann läßt man das Reaktionsgemisch langsam unter Rühren auf Raum-
temperatur erwärmen. Nach 2 Stunden Rühren wird mit Wasser / Dichlormethan extrahiert, die organischen Phasen mit Natriumsulfat getrocknet und das Lösungsmittel am Rotations-
verdampfer unter Vakuum abdestilliert. Das feste Rohprodukt wird durch Umkristallisation in
Methanol gereinigt. Das Produkt wird als gelbes kristallines Material in einer Ausbeute von
72% erhalten. ^{31}P -NMR (C_6D_6 , 121 MHz): $-71,6$ (s), $+76,5$ (s, breit). ^1H -NMR (C_6D_6 , 300
MHz), einige charakteristische Signale: 7,20 (m, 1H), 6,81 (m, 1H), 6,52 (m, 1H), 5,97 (m,
2H), 5,21 (m, 1H), 4,27 (s, 5H, Cyclopentadienring), 3,28 (s, 3H, O-CH₃), 3,13 (s, 3H, O-
CH₃).

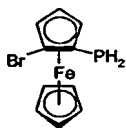
b) Herstellung von



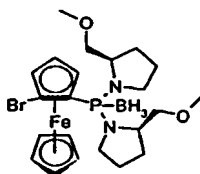
Zu einer Lösung von 2,0 g (3,22 mmol) der Verbindung a) in 20 ml THF werden bei $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ in-
nerhalb von 30 Minuten 18,5 mmol HCl (Lösung in Diethyläther) zuge-
tropft. Danach wird die
Kühlung entfernt und weitere 2 Stunden gerührt. In der roten Lösung bildet sich ein heller
Niederschlag und ein rotes Oel. Nach Abfiltrieren des Niederschlags wird das Reaktionsge-
misch mittels NMR gemessen. ^{31}P -NMR (C_6D_6 , 121 MHz): 162,7 (d), $-72,5$ (d).

c) Herstellung der Titelverbindung

Das gemäss Stufe b) erhaltene Dichlorphosphin wird ohne Reinigung weiter umgesetzt. Nach Abkühlen auf 0 °C werden portionsweise langsam mit 32 mmol Lithiumaluminiumhydrid zugegeben. Nach 3 Stunden Ausrühren bei Raumtemperatur wird wieder auf 0 °C gekühlt, und es werden langsam 10 ml Wasser zugetropft. Zur resultierenden grauen Suspension wird Natriumsulfat zugegeben. Es scheidet sich eine organische Phase ab. Diese wird abgetrennt und das Gemisch mehrmals mit Heptan gewaschen. Die organischen Phasen werden vereinigt, mit wenig 0,5 molarer wässriger Methansulfonsäure und anschliessend mit Wasser gewaschen, über Natriumsulfat getrocknet und das Lösungsmittel unter Vakuum abdestilliert. Das gewünschte Produkt wird in guter Ausbeute als oranges Öl erhalten und ohne Reinigung weiterverwendet. ^{31}P -NMR (C_6D_6 , 121 MHz): -67,5 (d, $\text{P}(\text{Furyl})_2$), -152,0 (d, PH_2). ^1H -NMR (C_6D_6 , 300 MHz), einige charakteristische Signale: 7,27 (m), 6,73 (m), 6,51 (m), 6,07 (m), 5,97 (m), 3,94 (s, 5H, Cyclopentadienring).

Beispiel C5: Herstellung von

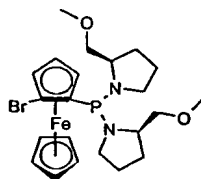
a) Herstellung von



In einem 50 ml Rundkolben mit Argoneinlass wird Verbindung B2 (1,00 g, 2,18 mmol) in trockenem TBME (5,00 ml) und *n*-Hexan (5,00 ml) gelöst und die erhaltene Lösung auf -30 °C gekühlt. Dabei fällt das Edukt als gelber Feststoff aus. Es wird tropfenweise *s*-Butyl-Li (1,3 M in Cyclohexan; 1,76 ml, 2,29 mmol, 1,05 Äquivalente) zugegeben. Dabei geht der gelbe Feststoff allmählich in Lösung, die Lösung färbt sich orange-rot und nach etwa 30 Minuten fällt ein orange-farbener Feststoff aus.

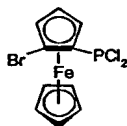
Nach 2 Stunden Rühren bei -30 °C wird $\text{BrF}_2\text{C}-\text{CF}_2\text{Br}$ (680 mg, 2,62 mmol, 1,2 Äquivalente) zugetropft, das Kühlbad entfernt und die Suspension 2 h unter Erwärmung auf RT gerührt. Das Reaktionsgemisch wird im Hochvakuum am Rotationsverdampfer bis zur Trockene eingengt und ohne Reinigung in Stufe b) weiterverwendet. ^{31}P -NMR (C_6D_6 , 121 MHz): 76,5 (m).

b) Herstellung von



Für das Entfernen der Borangruppe wird der gemäss a) erhaltene Rückstand in 5 ml Diethylamin aufgenommen und über Nacht bei 50°C gerührt. Im Anschluss werden alle flüchtigen Bestandteile im Ölpumpenvakuum bei 50 °C entfernt. Der erhaltene Rückstand wird dreimal in Diethylamin (je 2,00 ml) aufgenommen, für 30 Minuten bei 50 °C gerührt und alle flüchtigen Bestandteile bei 50 °C im Ölpumpenvakuum entfernt (30 Minuten). Der Rückstand wird zweimal in trockenem TBME (2 ml) aufgenommen und alle flüchtigen Bestandteile bei 50 °C im Ölpumpenvakuum entfernt. Zurück bleibt das entschützte Produkt, welches ohne Reinigung in Stufe c) weiterverwendet wird.

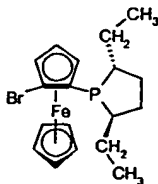
c) Herstellung von



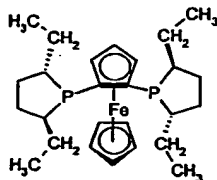
Das gemäss b) hergestellte Reaktionsprodukt wird in 5 ml TBME gelöst und bei 0°C tropfenweise unter Rühren mit 2,6 mmol einer HCl-Lösung (2n in Diethylether) versetzt. Die Reaktionslösung wird anschliessend durch Dekantieren von den ausgefallenen Ammoniumverbindungen abgetrennt und unter Argon am Rotationsverdampfer flüchtige Bestandteile entfernt. Der Rückstand wird direkt in Stufe d) eingesetzt. ^{31}P -NMR (C_6D_6 , 121 MHz): 160,6 (s)

d) Herstellung der Titelverbindung

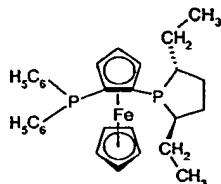
2 mmol Lithiumaluminiumhydrid werden unter Argon in 8 ml absolutem THF suspendiert und auf -78°C gekühlt. Das gemäss c) hergestellte Rohprodukt wird in 8 ml absolutem THF gelöst und zur gekühlten Suspension von Lithiumaluminiumhydrid getropft. Das Reaktionsgemisch wird 30 Minuten bei dieser Temperatur und dann 30 Minuten bei 20°C gerührt. Zur Suspension werden 1,7 ml 2N NaOH tropfenweise zugegeben und die überstehende Lösung zur Isolierung der orangenen Titelverbindung abfiltriert und eingedampft. Das Rohprodukt wird direkt in Beispiel D1 weiterverwendet.

D) Herstellung von 1-Halogen-2-phospholan-ferrocenenBeispiel D1: Herstellung von

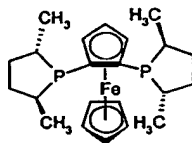
0,30 g (1 mmol) des Rohprodukts gemäss Beispiel C5d werden in 5 ml absolutem THF gelöst, entgast und mit 1 ml (1 mmol) einer 1N Lösung von Lithiumdiisopropylamid in THF versetzt. Die resultierende rote Lösung wird zu 0,22 g (1,20 mmol) (3S,6S)-Oktan-3,6-diol-sulfat getropft. Bei Raumtemperatur werden weitere 1,2 ml 1N Lithiumdiisopropylamid in THF zugesetzt und 60 Minuten nachgerührt. Es werden 8 ml Wasser zugefügt und dann mit Diethylether extrahiert. Die organischen Phasen werden über Natriumsulfat getrocknet und eingedampft. Man erhält die Titelverbindung als oranges, festes Produkt.

E) Herstellung von erfindungsgemässen FerrocendiphosphinenBeispiel E1: Herstellung von

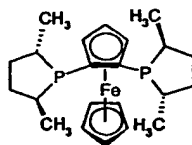
0,55 g (2,20 mmol) der Titelverbindung C1 werden in 10 ml absolutem THF gelöst, entgast und mit 2,2 ml (2,20 mmol) einer 1N Lösung von Lithiumdiisopropylamid in THF versetzt. Die rote Lösung wird zu 0,96 g (5,30 mmol) von (3R,6R)-Oktan-3,6-diol-sulfat getropft. Bei RT werden weitere 7 ml 1N Lithiumdiisopropylamid in THF zugesetzt und 60 Minuten nachgerührt. Dann werden 20 ml Wasser zugefügt und mit Diethylether extrahiert. Die organischen Phasen werden über Natriumsulfat getrocknet und eingedampft. Man erhält 0,848 g (82%) der Titelverbindung. ^1H NMR: 0,8-2,65 ppm (m, 32H); 4,20-4,25 (m, 6H); 4,37 (s, 1H); 4,40 (s, 1H) und ^{31}P NMR: -11,0 (d), -3,3 (d).

Beispiel E2: Herstellung von

0,4 g (1 mmol) der Titelverbindung von Beispiel C2 werden in 5 ml absolutem THF gelöst, entgast und mit 1 ml (1 mmol) einer 1N Lösung von Lithiumdiisopropylamid in THF versetzt. Die rote Lösung wird zu 0,22 g (1,20 mmol) (3S,6S)-Oktan-3,6-diol-sulfat getropft. Bei RT werden weitere 1,2 ml 1N Lithiumdiisopropylamid in THF zugesetzt und 60 Minuten nachgerührt. Es werden 8 ml Wasser zugefügt und dann mit Diethylether extrahiert. Die organischen Phasen werden über Natriumsulfat getrocknet und eingedampft. Man erhält die Titelverbindung als orangen Feststoff.

Beispiel E3: Herstellung von

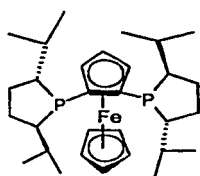
0,7 g (3,80 mmol) der Titelverbindung C1 werden in 10 ml absolutem THF gelöst, entgast und mit 1,05 molaren Äquivalenten einer 1N Lösung von Lithiumdiisopropylamid in THF versetzt. Die rote Lösung wird zu 1,21 g (6,72 mmol) von (2R,5R)-Hexan-2,5-diol-sulfat getropft. Bei Raumtemperatur werden weitere 3,4 molare Äquivalente 1N Lithiumdiisopropylamid in THF zugesetzt und 60 Minuten nachgerührt. Dann werden 20 ml Wasser zugefügt und mit Diethylether extrahiert. Die organischen Phasen werden über Natriumsulfat getrocknet und eingedampft. Man erhält 0,60 g (52%) der Titelverbindung. ^1H NMR: 0,8-0,9 (dd, 3H), 1,1-1,2 (m, 2H), 1,2-1,3 (dd, 3H), 1,4-1,5 (dd, 3H), 1,5-1,6 (dd, 3H), 1,8-2,2 (m, 5H), 2,3-2,4 (m, 1H), 2,6-2,7 (m, 1H), 3,1-3,2 (m, 1H), 4,0 (m, 1H), 4,2 (m, 6H), 4,3 (m, 1H) und ^{31}P NMR: -8,3 (d), 5,9 (d).

Beispiel E4: Herstellung von

6,72 g (26,88 mmol) der Titelverbindung C1 werden in 100 ml absolutem THF gelöst, entgast und mit 1,05 molaren Äquivalenten einer 1N Lösung von Lithiumdiisopropylamid in THF ver-

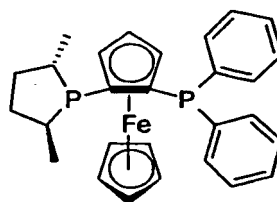
setzt. Die rote Lösung wird zu 10,17 g (56,45 mmol) von (2R,5R)-Hexan-2,5-diol-ditosylat getropft. Bei Raumtemperatur werden weitere 3,4 molare Äquivalente 1N Lithiumdiisopropylamid in THF zugesetzt und 60 Minuten nachgerührt. Dann werden 20 ml Wasser zugefügt und mit Diethylether extrahiert. Die organischen Phasen werden über Natriumsulfat getrocknet, eingedampft und mittels Säulenchromatographie gereinigt (Pentan:Diethylether, 4:1). Man erhält 4,47 g (40%) der Titelverbindung. Die NMR-Spektren entsprechen denen der Verbindung gemäss Beispiel E3.

Beispiel E5: Herstellung von



0,6 g (2,40 mmol) der Titelverbindung C1 werden in 10 ml absolutem THF gelöst, entgast und mit 1,05 molaren Äquivalenten einer 1N Lösung von Lithiumdiisopropylamid in THF versetzt. Die rote Lösung wird zu 1,36 g (5,76 mmol) von (3S,6S)-2,7-Dimethyl-oktan-2,5-diol-sulfat getropft. Bei Raumtemperatur werden weitere 3,4 molare Äquivalente 1N Lithiumdiisopropylamid in THF zugesetzt und 60 Minuten nachgerührt. Dann werden 20 ml Wasser zugefügt und mit Diethylether extrahiert. Die organischen Phasen werden über Natriumsulfat getrocknet, eingedampft und mittels Säulenchromatographie gereinigt (Pentan:Diethylether, 4:1). Man erhält 0,85 g (67%) der Titelverbindung. ^{31}P NMR: -21,8 (d), -0,1 (d).

Beispiel E6: Herstellung von

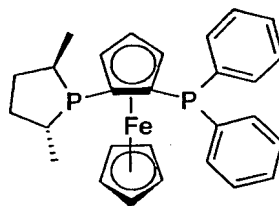


Zu einer Lösung von 410 mg (1,02 mmol) der Titelverbindung C2' in 12 ml THF werden 1,05 molare Äquivalente einer 1N Lösung von Lithiumdiisopropylamid in THF gegeben. Die Lösung wird zu 221 mg (1,22 mmol) (2R,5R)-Hexan-2,5-diol-sulfat getropft. Bei RT werden weitere 1,2 molare Äquivalente einer 1N Lösung von Lithiumdiisopropylamid in THF zuge-
tropft und eine Stunde nachgerührt. Nach Abdestillieren des Lösungsmittels wird das Roh-
produkt mit Säulenchromatographie (Kieselgel 60, Laufmittel: Ethylacetat) gereinigt. Das

- 44 -

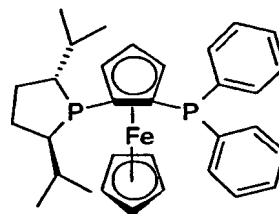
Produkt wird in einer Ausbeute von 45% isoliert. ^{31}P -NMR (C_6D_6 , 121 MHz): -6,0 (d, $J_{\text{PP}} \sim 90$ Hz), -24,2 (d, $J_{\text{PP}} \sim 90$ Hz).

Beispiel E7: Herstellung von

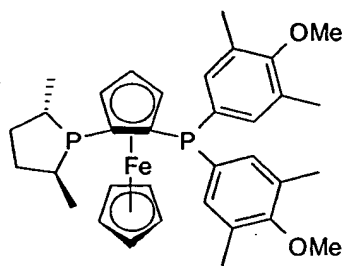


Zu einer Lösung von 436 mg (1.09 mmol) der Verbindung C2' in 12 ml THF werden 1,05 molare Äquivalente einer 1N Lösung von Lithiumdiisopropylamid in THF gegeben. Die Lösung wird zu 235 mg (1,3 mmol) (2S,5S)-Hexan-2,5-diol-sulfat getropft. Bei Raumtemperatur werden weitere 1,2 molare Äquivalente einer 1N Lösung von Lithiumdiisopropylamid in THF zugetropft und 1 Stunde nachgerührt. Nach Abdestillieren des Lösungsmittels wird das Rohprodukt mittels Säulenchromatographie (Kieselgel 60, Laufmittel: Ethylacetat) gereinigt. Das Produkt wird in einer Ausbeute von 40% isoliert. ^{31}P -NMR (C_6D_6 , 121 MHz): -3,2 (d, $J_{\text{PP}} \sim 50$ Hz), -23,1 (d, $J_{\text{PP}} \sim 50$ Hz).

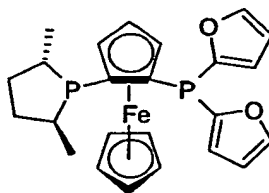
Beispiel E8: Herstellung von



Zu einer Lösung von 450 mg (1,12 mmol) der Verbindung C2' in 10 ml THF werden 1,05 molare Äquivalente einer 1N Lösung von Lithiumdiisopropylamid in THF zugegeben. Die Lösung wird zu 295 mg (1,34 mmol) (3S,6S)-2,7-Dimethyl-oktan-2,5-diol-sulfat getropft. Bei RT werden weitere 1,2 molare Äquivalente einer 1N Lösung von Lithiumdiisopropylamid in THF zugetropft und 1 Stunde nachgerührt. Nach Abdestillieren des Lösungsmittels wird das Rohprodukt durch Säulenchromatographie (Kieselgel 60, Laufmittel: Ethylacetat) gereinigt. Das Produkt wird in einer Ausbeute von 50% isoliert. ^{31}P -NMR (C_6D_6 , 121 MHz): -13,0 (d, $J_{\text{PP}} \sim 80$ Hz), -24,7 (d, $J_{\text{PP}} \sim 80$ Hz).

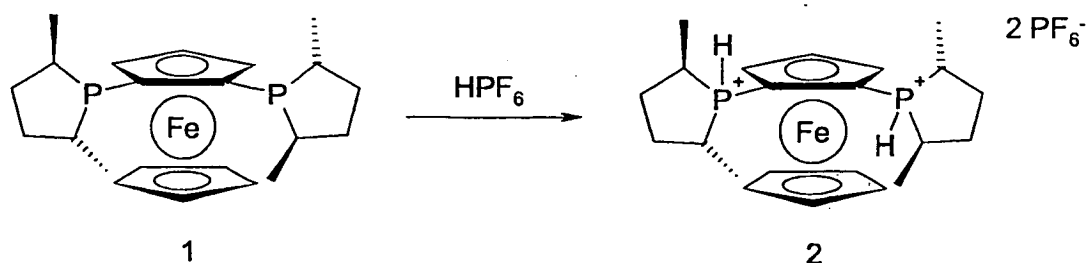
Beispiel E9: Herstellung von

Zu einer Lösung von 1,13 g (3,08 mmol) der Verbindung C3 in 20 ml THF werden 1,05 molare Äquivalente einer 1N Lösung von Lithiumdiisopropylamid in THF gegeben. Die Lösung wird zu 3,7 mMol (2R,5R)-Hexan-2,5-diol-sulfat getropft. Bei Raumtemperatur (RT) werden weitere 1,2 molare Äquivalente einer 1N Lösung von Lithiumdiisopropylamid in THF zuge-
tropft und 1 Stunde nachgerührt. Nach Abdestillieren des Lösungsmittels wird das Rohpro-
dukt in Ethylacetat / 10% wässrige NaBF₄ extrahiert. Die organischen Phasen werden mit
Natriumsulfat getrocknet und unter Vakuum eingedampft. Das orange Produkt wird in einer
Ausbeute von 80% erhalten. Bei Bedarf kann es durch Säulenchromatographie (Kieselgel
60, Laufmittel: Heptan / TBME 3:1) gereinigt werden. ³¹P-NMR (C₆D₆, 121 MHz):
-6,6 (d, J_{PP} ~ 85 Hz), -25,5 (d, J_{PP} ~ 85 Hz).

Beispiel E10: Herstellung von

Zu einer Lösung von 400 mg (1,05 mmol) der Verbindung C4 in 10 ml THF werden 1,05 mo-
lare Äquivalente einer 1N Lösung von Lithiumdiisopropylamid in THF gegeben. Die Lösung
wird zu 1,26 mMol (2R,5R)-Hexan-2,5-diol-sulfat getropft. Bei RT werden weitere 1,2 molare
Äquivalente einer 1N Lösung von Lithiumdiisopropylamid in THF zuge-
tropft und dann eine
Stunde nachgerührt. Nach Abdestillieren des Lösungsmittels wird das Rohprodukt in Ethyl-
acetat / 10% wässrige NaBF₄ extrahiert. Die organischen Phasen werden mit Natriumsulfat
getrocknet und unter Vakuum eingedampft. Das orange Produkt wird in einer Ausbeute von
76% erhalten. Bei Bedarf kann es durch Säulenchromatographie (Kieselgel 60, Laufmittel:
Heptan / TBME 3:1) gereinigt werden. ³¹P-NMR (C₆D₆, 121 MHz): -6,8 (d, J_{PP} ~ 100 Hz),
-71,1 (d, J_{PP} ~ 100 Hz).

Beispiel E11: Herstellung eines Phosphoniumsalzes 1,2-Bis(2,5-dimethylphospholano)ferrocen bis(hexafluorophosphat)



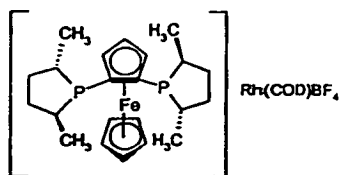
192 mg (0,46 mmol) 1 werden in 2 ml Dichlormethan gelöst und bei 0°C mit 135 µl (0,92 mmol) HPF_6 (65% in Wasser) versetzt. Die Mischung wird eingedampft. Durch Behandlung mit 5 ml Diethylether wird ein gelber Feststoff erhalten (327 mg, 86%). ^{31}P NMR (ppm): -143 (Septett, PF_6), -8 (breites s, P^+)

F) Herstellung von Metallkomplexen

Beispiel F1: Herstellung eines Rhodiumkomplexes

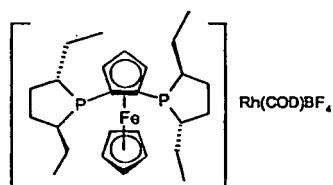
1 Äquivalent einer Suspension von $[\text{Rh}(\text{COD})_2]\text{BF}_4$ in der 5-fachen Menge (w/w) THF wird unter Rühren auf 65°C erwärmt. Anschliessend wird eine Lösung von 1 Äquivalent des Diphosphins gemäß Beispiel E1 in der 5-fachen Menge (w/w) THF in einem Zeitraum von 20 Minuten zugetropft. Zur Reaktionslösung werden dann 4 ml TBME zugetropft. Beim langsamen Abkühlen bilden sich über Nacht Kristalle, welche durch Filtration und Nachwaschen mit THF isoliert werden. Die Mutterlauge wird unter reduziertem Druck vollständig eingedampft, der Rückstand in TBME aufgenommen und im Ultraschallbad mit einem Glasstab verrieben. Dabei entstehen feine gelbe Kristalle. Die Suspension wird auf 0°C gekühlt, 3 Stunden stehen gelassen und abfiltriert. Nach Waschen mit TBME werden diese Kristalle gesammelt und am Hochvakuum getrocknet. Beide Kristallfraktionen weisen identische NMR-Spektren auf. ^{31}P NMR (CDCl_3 , 121 MHz): 58,6 (d), 46,1 (d).

Beispiel F2: Herstellung von



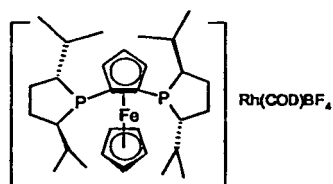
Gemäss der allgemeinen Vorschrift in Beispiel F1 wird die Verbindung aus Beispiel E4 mit $[\text{Rh}(\text{COD})_2]\text{BF}_4$ umgesetzt und in einer Ausbeute von 90% die Titelverbindung erhalten. ^{31}P NMR: 48,7 (dd), 60,0 (d).

Beispiel F3: Herstellung von



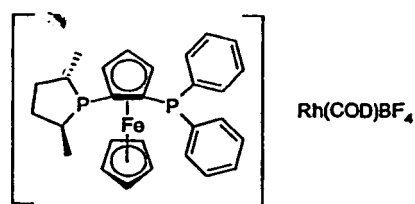
Gemäss der allgemeinen Vorschrift in Beispiel F1 wird die Verbindung aus Beispiel E1 mit $[\text{Rh}(\text{COD})_2]\text{BF}_4$ umgesetzt und in einer Ausbeute von 87% die Titelverbindung erhalten. ^{31}P NMR: 46,5 (dd), 58,4 (dd).

Beispiel F4: Herstellung von

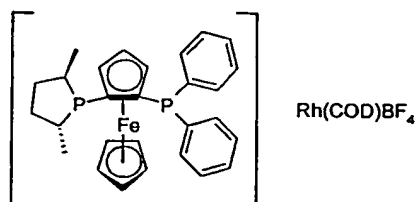


Gemäss der allgemeinen Vorschrift in Beispiel F1 wird die Verbindung aus Beispiel E5 mit $[\text{Rh}(\text{COD})_2]\text{BF}_4$ umgesetzt und in einer Ausbeute von 67% die Titelverbindung erhalten. ^{31}P NMR: 46,5 (dd), 58,3 (d).

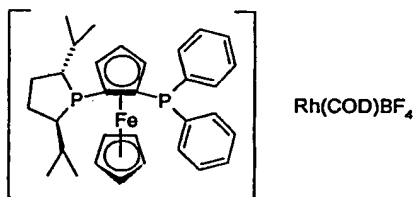
Beispiel F5: Herstellung von



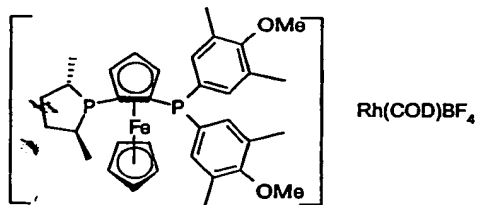
Gemäss der allgemeinen Vorschrift in Beispiel F1 wird die Verbindung aus Beispiel E6 mit $[\text{Rh}(\text{COD})_2]\text{BF}_4$ umgesetzt und in einer Ausbeute von 70% die Titelverbindung erhalten. ^{31}P -NMR (C_6D_6 , 121 MHz): 53,5 (m), 40,0 (m).

Beispiel F6: Herstellung von

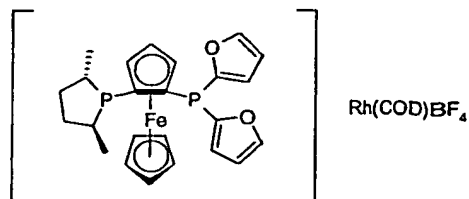
Gemäss der allgemeinen Vorschrift in Beispiel F1 wird die Verbindung aus Beispiel E7 mit $[\text{Rh}(\text{COD})_2]\text{BF}_4$ umgesetzt und in einer Ausbeute von 85% die Titelverbindung erhalten. ^{31}P -NMR (C_6D_6 , 121 MHz): 59,8 (m), 37,1 (m).

Beispiel F7: Herstellung von

Gemäss der allgemeinen Vorschrift in Beispiel F1 wird die Verbindung aus Beispiel E8 mit $[\text{Rh}(\text{COD})_2]\text{BF}_4$ umgesetzt und in einer Ausbeute von 55% die Titelverbindung erhalten. ^{31}P -NMR (C_6D_6 , 121 MHz): 42,0 (m), 39,4 (m).

Beispiel F8: Herstellung von

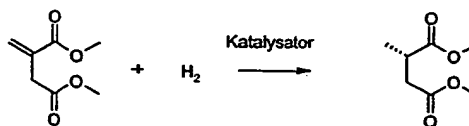
Gemäss der allgemeinen Vorschrift in Beispiel F1 wird die Verbindung aus Beispiel E9 mit $[\text{Rh}(\text{COD})_2]\text{BF}_4$ umgesetzt und in einer Ausbeute von 35% die Titelverbindung erhalten. ^{31}P -NMR (C_6D_6 , 121 MHz): 52,2 (m), 37,0 (m).

Beispiel F9: Herstellung von

Gemäss der allgemeinen Vorschrift in Beispiel F1 wird die Verbindung aus Beispiel E10 mit $[\text{Rh}(\text{COD})_2]\text{BF}_4$ umgesetzt und in einer Ausbeute von 62% die Titelverbindung erhalten. ^{31}P -NMR (C_6D_6 , 121 MHz): 53,4 (m), 1,0 (m).

G) ANWENDUNGSBESPIELE

Bei den Anwendungsbeispielen sind sowohl Umsatz als auch die optischen Ausbeuten (Enantiomerenüberschuss ee) nicht optimiert.

Beispiel G1: Hydrierung von Dimethylitaconat (Hydrierung mit isoliertem Rh-Komplex)

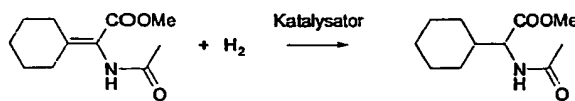
In einem 25 ml Kolben mit Magnetrührer und Gas- sowie Vakuumschluss werden 3,85 mg (0,005 mmol) des Rhodium Komplexes gemäss Beispiel F1 vorgelegt. Der Kolben wird mit einem Septum verschlossen und durch mehrmaliges Evakuieren und Auffüllen mit Argon unter Argon gesetzt. Mit einer Spritze mit Nadel wird durch das Septum eine entgaste Lösung von 158 mg (1 mmol) Dimethylitaconat in 4 ml Methanol zugegeben und 10 Minuten gerührt. Der Rührer wird abgestellt, der Kolben durch Ansetzen von Vakuum und Auffüllen mit Wasserstoff (Normaldruck) unter Wasserstoff gesetzt und die Wasserstoffzufuhr offen gelassen. Durch Einschalten des Rührers wird die Hydrierung gestartet. Nach einer Stunde wird der Rührer abgestellt und die Reaktionslösung im Gaschromatograph mit chiraler Säule (Chirasil-L-val) untersucht. Der Umsatz ist vollständig, die optische Ausbeute ee des Hydrierproduktes (Dimethyl-methylsuccinat) ist grösser als 99%.

Beispiel G2: Hydrierung von Dimethylitaconat

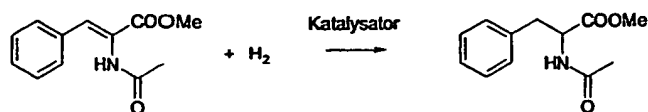
Analog zu Beispiel G2 wird die Hydrierung mit dem Rhodium-Komplex gemäß Beispiel F5 durchgeführt. Der Umsatz ist vollständig, die optische Ausbeute ee des Hydrierproduktes (Dimethyl-methylsuccinat) ist grösser als 98%.

Beispiel G3: Hydrierung von Dimethylitaconat (Hydrierung mit in situ hergestelltem Katalysator)

In einem 25 ml Kolben mit Magnetrührer und Gas- sowie Vakuumanschluss werden (0,0055 mmol) des Liganden gemäß Beispiel E9 vorgelegt. Der Kolben wird mit einem Septum verschlossen und durch mehrmaliges Evakuieren und Auffüllen mit Argon unter Argon gesetzt. Mit einer Spritze mit Nadel wird durch das Septum eine entgaste Lösung von 0,005 mmol $[\text{Rh}(\text{COD})]\text{BF}_4$ in 1 ml Methanol 5 Minuten gerührt und anschließend eine Lösung von 158 mg (1 mmol) Dimethylitaconat in 4 ml Methanol zugegeben und 10 Minuten gerührt. Der Rührer wird abgestellt, der Kolben durch Ansetzen von Vakuum und Auffüllen mit Wasserstoff (Normaldruck) unter Wasserstoff gesetzt und die Wasserstoffzufuhr offen gelassen. Durch Einschalten des Rührers wird die Hydrierung gestartet. Nach einer Stunde wird der Rührer abgestellt und die Reaktionslösung im Gaschromatograph mit chiraler Säule (Chirasil-L-val) untersucht. Der Umsatz ist vollständig, die optische Ausbeute ee des Hydrierproduktes (Dimethyl-methylsuccinat) ist grösser als 97%.

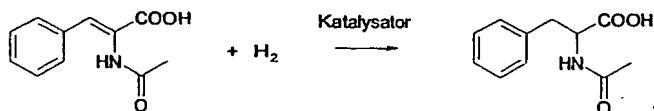
Beispiel G4: Hydrierung von

In einem 25 ml Kolben mit Magnetrührer und Gas- sowie Vakuumanschluss werden (0,011 mmol) des Liganden gemäß Beispiel E4 vorgelegt. Der Kolben wird mit einem Septum verschlossen und durch mehrmaliges Evakuieren und Auffüllen mit Argon unter Argon gesetzt. Mit einer Spritze mit Nadel wird durch das Septum eine entgaste Lösung von 0,01 mmol $[\text{Rh}(\text{Norbornadien})_2]\text{BF}_4$ in 1 ml Methanol 5 Minuten gerührt und anschließend eine Lösung von 1 mmol N-Acetyl-cyclohexylidenglycin-methylester in 4 ml Methanol zugegeben und 10 Minuten gerührt. Der Rührer wird abgestellt, der Kolben durch Ansetzen von Vakuum und Auffüllen mit Wasserstoff (Normaldruck) unter Wasserstoff gesetzt und die Wasserstoffzufuhr offen gelassen. Durch Einschalten des Rührers wird die Hydrierung gestartet und es wird über Nacht gerührt. Dann wird der Rührer abgestellt und die Reaktionslösung wird gaschromatographisch mit einer chiralen Säule (Chirasil-L-val) untersucht. Der Umsatz liegt bei über 80% und die optische Ausbeute ee an N-Acetyl-cyclohexylglycin-methylester ist 91%.

Beispiel G5: Hydrierung von

Die Hydrierung wird analog zu Beispiel G4 mit Acetamidozimtsäure-methylester E5 durchgeführt. Der Umsatz ist laut Gaschromatographie (Chirasil-L-val) vollständig und die optische Ausbeute ee ist 97% .

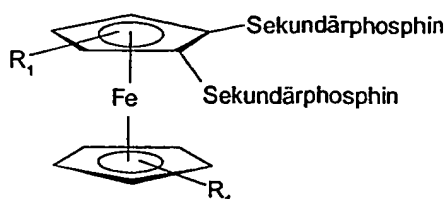
Beispiel G6: Hydrierung von



Die Hydrierung wird analog zu Beispiel G4 mit Acetamidozimtsäure durchgeführt. Das Produkt wird mit Diazomethan zum entsprechenden Methylester überführt und gaschromatographisch (Chirasil-L-val) untersucht. Der Umsatz ist vollständig und die optische Ausbeute ee ist 97%.

Patentansprüche:

1. Verbindungen der Formel I in Form von Racematen, Gemischen von Diastereomeren oder im wesentlichen reinen Diastereomeren,

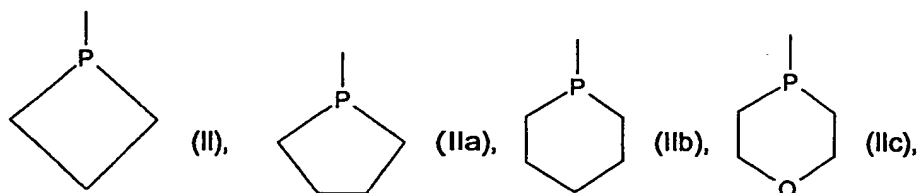


(I),

worin

R_1 Wasserstoffatom oder C_1 - C_4 -Alkyl bedeutet, und wenigstens ein Sekundärphosphin eine unsubstituierte oder substituierte zyklische Phosphingruppe darstellt, oder deren Phosphoniumsalze mit ein oder zwei monovalenten Anionen oder einem divalenten Anion.

2. Verbindungen gemäss Anspruch 1, worin das zyklische Sekundärphosphin den Formeln II, IIa, IIb oder IIc entspricht,

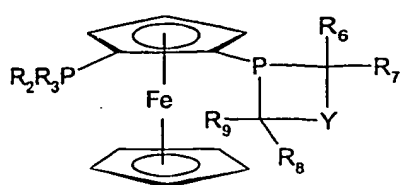


die unsubstituiert oder ein- oder mehrfach substituiert sind mit -OH, C_1 - C_8 -Alkyl, C_4 - C_8 -Cycloalkyl, C_1 - C_6 -Alkoxy, C_1 - C_4 -Alkoxy- C_1 - C_4 -Alkyl, Phenyl, C_1 - C_4 -Alkyl- oder C_1 - C_4 -Alkoxyphenyl, Benzyl, C_1 - C_4 -Alkyl- oder C_1 - C_4 -Alkoxybenzyl, Benzyloxy, C_1 - C_4 -Alkyl- oder C_1 - C_4 -Alkoxybenzyloxy, oder C_1 - C_4 -Alkyliden-dioxy.

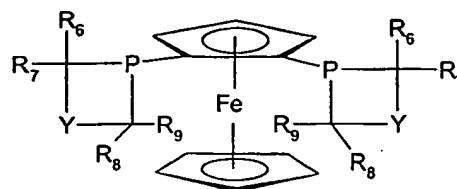
3. Verbindungen gemäss Anspruch 2, worin Substituenten in einer oder beiden α -Stellungen zum P-Atom gebunden sind.

4. Verbindungen gemäss Anspruch 1, worin die Verbindungen der Formel I den Formeln III oder IV entsprechen,

- 53 -



(III),

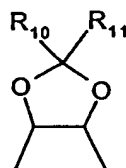


(IV),

worin

R_2 und R_3 unabhängig voneinander einen Kohlenwasserstoffrest mit 1 bis 20 C-Atomen darstellen, der unsubstituiert oder substituiert ist mit Halogen, C_1 - C_6 -Alkyl, C_1 - C_6 -Halogenalkyl, C_1 - C_6 -Alkoxy, C_1 - C_6 -Halogenalkoxy, Di- C_1 - C_4 -Alkylamino, $(C_6H_5)_3Si$, $(C_1-C_{12}-Alkyl)_3Si$, oder $-CO_2-C_1-C_6-Alkyl$,

Y für $-CH_2-$, $-CH_2CH_2-$, $-CH_2CH_2CH_2-$, $-CH(OH)CH(OH)-$, $-CH(OC_1-C_4-Alkyl)CH(OC_1-C_4-Alkyl)-$ steht, oder einen Rest der Formel



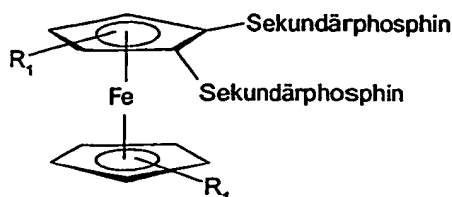
bedeutet,

R_6 , R_7 , R_8 und R_9 unabhängig voneinander H, C_1 - C_4 -Alkyl oder Benzyl darstellen, und wenigstens einer der Reste R_6 , R_7 , R_8 und R_9 C_1 - C_4 -Alkyl, Benzyl oder $-CH_2-O-C_1-C_4-Alkyl$ beziehungsweise $-CH_2-O-C_6-C_{10}-Aryl$ bedeutet,

R_{10} H oder C_1 - C_4 -Alkyl ist, und

R_{11} C_1 - C_4 -Alkyl bedeutet.

5. Verfahren zur Herstellung von Verbindungen der Formel I in Form von Racematen, Gemischen von Diastereomeren oder im wesentlichen reinen Diastereomeren,

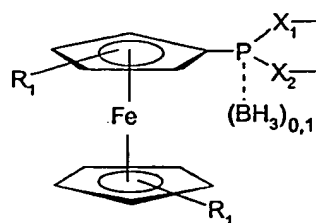


(I),

worin

R_1 Wasserstoffatom oder C_1 - C_4 -Alkyl bedeutet, und wenigstens ein Sekundärphosphin eine unsubstituierte oder substituierte zyklische Phosphingruppe darstellt, umfassend die Schritte

a) Umsetzung einer Verbindung der Formel V

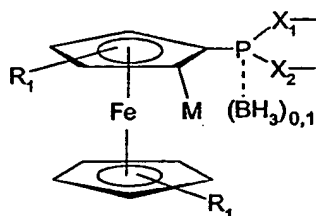


(V),

worin

X_1 und X_2 unabhängig voneinander O oder N- bedeuten, und an die freien Bindungen der O- und N-Atome C-gebundene Kohlenwasserstoff- oder Heterokohlenwasserstoffreste gebunden sind,

mit wenigstens äquivalenten Mengen Lithiumalkyl, einer Magnesium-Grignardverbindung, oder einem aliphatischen Li-Sekundäramid oder $X_3\text{Mg}$ -Sekundäramid zu einer Verbindung der Formel VI,

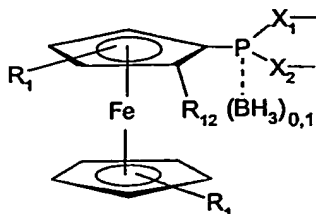


(VI),

worin

M für -Li oder - MgX_3 steht und X_3 Cl, Br oder I darstellt,

b) Umsetzung der Verbindung der Formel VI mit wenigstens äquivalenten Mengen eines Disekundäramino-phosphinhalogenids, eines Dialkoxyphosphinhalogenids, Disekundäramino-P(O)-halogenid, Dialkoxy-P(O)-halogenid oder PCl_3 oder PBr_3 zu einer Verbindung der Formel VII



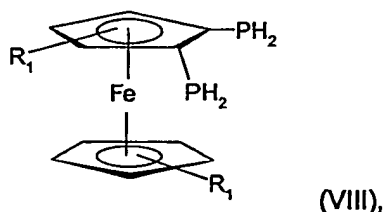
(VII),

worin

R_{12} - PCl_2 -, - PBr_2 -, Di(sekundäramino)P-, DialkoxyP-, Disekundäramino-P(O)-, Dialkoxy-P(O)- darstellt, und

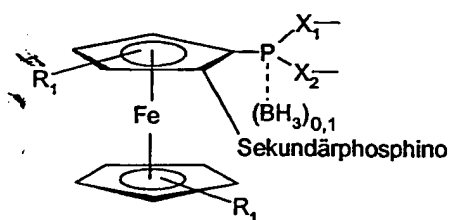
b1) aus einer Verbindung der Formel VII, wenn vorhanden, die Borangruppe entfernt, dann die Reste (Hetero)Kohlenwasserstoff- X_1 , (Hetero)Kohlenwasserstoff- X_2 , oder X_1 -(Hetero)-Kohlenwasserstoff- X_2 sowie Disekundäramino oder Dialkoxy mit HCl oder HBr unter Bildung einer - PCl_2 -Gruppe oder - PBr_2 -Gruppe abspaltet, und danach die -(O) PCl_2 -Gruppen, -(O) PBr_2 -Gruppen, - PCl_2 -Gruppen oder - PBr_2 -Gruppen zu einer Verbindung der Formel VIII hydriert, oder

b2) aus einer Verbindung der Formel VII die Reste (Hetero)Kohlenwasserstoff- X_1 , (Hetero)-Kohlenwasserstoff- X_2 , oder X_1 -(Hetero)Kohlenwasserstoff- X_2 sowie Disekundäramino oder Dialkoxy mit HCl oder HBr unter Bildung einer - PCl_2 -Gruppe oder - PBr_2 -Gruppe abspaltet, und danach die -(O) PCl_2 -Gruppen, -(O) PBr_2 -Gruppen, - PCl_2 -Gruppen oder - PBr_2 -Gruppen hydriert, und dann die Borangruppe zur Bildung einer Verbindung der Formel VIII,



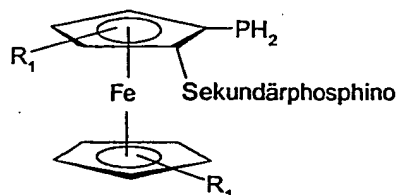
entfernt, oder

c) Umsetzung einer Verbindung der Formel VI mit einem Sekundärphosphin-halogenid zu einer Verbindung der Formel IX,



c1) aus einer Verbindung der Formel IX, wenn vorhanden, die Borangruppe entfernt, dann die Reste (Hetero)Kohlenwasserstoff- X_1 , (Hetero)Kohlenwasserstoff- X_2 , oder X_1 -(Hetero)-Kohlenwasserstoff- X_2 mit HCl oder HBr unter Bildung einer - PCl_2 -Gruppe oder - PBr_2 -Gruppe abspaltet, und danach die - PCl_2 -Gruppen oder - PBr_2 -Gruppen zu einer Verbindung der Formel X hydriert, oder

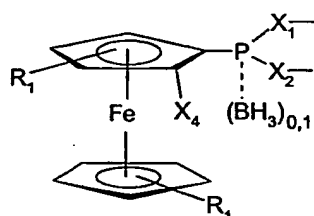
c2) aus einer Verbindung der Formel IX die Reste (Hetero)Kohlenwasserstoff- X_1 , (Hetero)-Kohlenwasserstoff- X_2 , oder X_1 -(Hetero) Kohlenwasserstoff- X_2 mit HCl oder HBr unter Bildung einer $-PCl_2$ -Gruppe oder $-PBr_2$ -Gruppe abspaltet, und danach die $-PCl_2$ -Gruppen oder $-PBr_2$ -Gruppen hydriert, und dann die Borangruppe zur Bildung einer Verbindung der Formel X



(X)

entfernt, oder

d) Umsetzung einer Verbindung der Formel VI mit einem Halogenierungsreagenz zu einer Verbindung der Formel XI



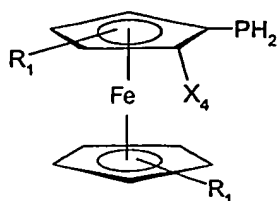
(XI),

worin X_4 für Cl, Br oder I steht,

d1) aus einer Verbindung der Formel XI, wenn vorhanden, die Borangruppe entfernt, dann die Reste (Hetero)Kohlenwasserstoff- X_1 , (Hetero)Kohlenwasserstoff- X_2 , oder X_1 -(Hetero)-Kohlenwasserstoff- X_2 mit HCl oder HBr unter Bildung einer $-PCl_2$ -Gruppe oder $-PBr_2$ -Gruppe abspaltet, und danach die $-PCl_2$ -Gruppe oder $-PBr_2$ -Gruppe zu einer Verbindung der Formel XII hydriert, oder

d2) aus einer Verbindung der Formel XI die Reste (Hetero)Kohlenwasserstoff- X_1 , (Hetero)-Kohlenwasserstoff- X_2 , oder X_1 -(Hetero) Kohlenwasserstoff- X_2 mit HCl oder HBr unter Bildung einer $-PCl_2$ -Gruppe oder $-PBr_2$ -Gruppe abspaltet, und danach die $-PCl_2$ -Gruppen oder $-PBr_2$ -Gruppen hydriert, und dann die Borangruppe zur Bildung einer Verbindung der Formel XII

- 57 -



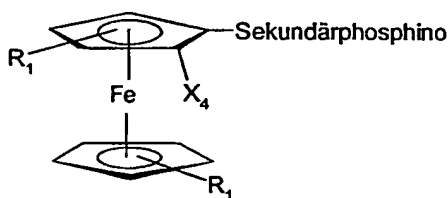
(XII)

entfernt, und

d3) die Verbindung der Formel XII mit einem metallierten Sekundärphosphid zu einer Verbindung der Formel X umsetzt,

e) Umsetzung der Verbindung der Formel VII mit wenigstens 2 Äquivalenten und der Verbindung der Formel X mit wenigstens 1 Äquivalent eines zyklischen Sulfats oder eines offenkettigen Disulfonats zur Herstellung von Verbindungen der Formel I, worin eine oder beide Sekundärphosphinogruppen zyklisches Sekundärphosphino darstellen, oder

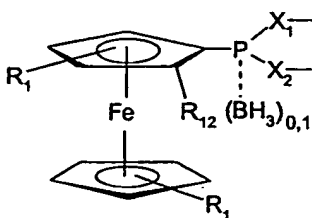
f) Umsetzung einer Verbindung der Formel XII mit wenigstens 1 Äquivalent eines zyklischen Sulfats oder eines offenkettigen Disulfonats zur Herstellung von Verbindungen der Formel XIII,



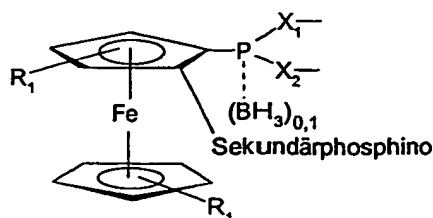
(XIII)

worin Sekundärphosphino zyklisches Sekundärphosphino darstellt, die gegebenenfalls mit BH_3 geschützt ist, und danach Umsetzung einer Verbindung der Formel XIII mit wenigstens 1 Äquivalent Lithiumalkyl und dann mit wenigstens 1 Äquivalent Sekundärphosphinhalogenid zu einer Verbindung der Formel I.

6. Verbindungen der Formeln VII, IX und XI,

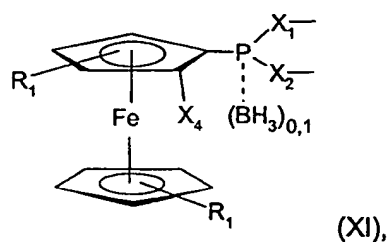


(VII),



(IX), und

- 58 -

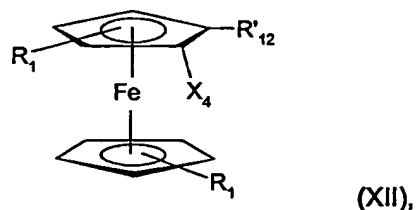
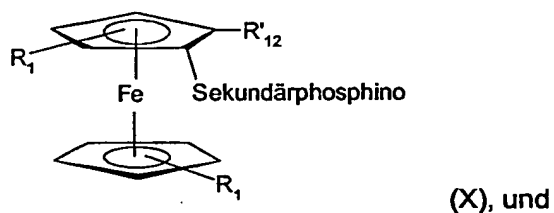
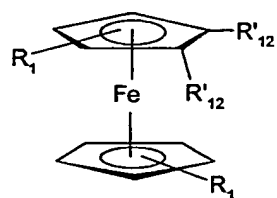


worin

X_1 und X_2 unabhängig voneinander O oder N- bedeuten, und an die freien Bindungen der O- und N-Atome C-gebundene Kohlenwasserstoff- oder Heterokohlenwasserstoffreste gebunden sind, und

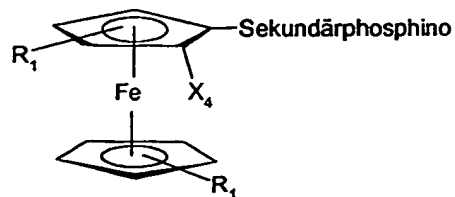
R_1 , R_{12} und X_4 die in Anspruch 5 angegebenen Bedeutungen haben.

7. Verbindungen der Formeln VIII, X und XII,



worin R'_{12} für $-PCl_2$, $-PBr_2$ oder $-PH_2$ steht, und R_1 und X_4 die in Anspruch 5 angegebenen Bedeutungen haben.

8. Verbindungen der Formel XIII



worin R_1 und X_4 die die in Anspruch 5 angegebenen Bedeutungen haben, und Sekundärphosphino zyklisches Sekundärphosphino darstellt.

9. Metallkomplexe von Metallen ausgewählt aus der Gruppe der TM8-Metalle mit Verbindungen der Formeln I als Liganden.

10. Metallkomplexe gemäss Anspruch 9, worin das TM-8 Metall Ruthenium, Rhodium oder Iridium ist.

11. Metallkomplexe gemäss Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass sie den Formeln XIV und XV entsprechen,



worin A_1 für eine Verbindung der Formel I steht,

L für gleiche oder verschiedene monodentate, anionische oder nicht-ionische Liganden steht, oder zwei L für gleiche oder verschiedene bidentate, anionische oder nicht-ionische Liganden steht;

n für 2, 3 oder 4 steht, wenn L einen monodentaten Liganden bedeutet, oder n für 1 oder 2 steht, wenn L einen bidentaten Liganden bedeutet;

z für 1, 2 oder 3 steht;

Me ein Metall ausgewählt aus der Gruppe Rh, Ir und Ru bedeutet; wobei das Metall die Oxidationsstufen 0, 1, 2, 3 oder 4 aufweist;

E^- das Anion einer Sauerstoffsäure oder Komplexsäure ist; und

die anionischen Liganden die Ladung der Oxidationsstufen 1, 2, 3 oder 4 des Metalls ausgleichen.

12. Metallkomplexe gemäss Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass sie den Formeln XIII und XIV entsprechen,



worin

A_1 für eine Verbindung der Formel I steht;

Me_2 Rhodium oder Iridium bedeutet;

Y für zwei Olefine oder ein Dien steht;

Z Cl, Br oder I bedeutet; und

E₁⁻ das Anion einer Sauerstoffsäure oder Komplexsäure darstellt.

13. Verwendung von Metallkomplexen gemäss Anspruch 9 als homogene Katalysatoren zur Herstellung chiraler organischer Verbindungen durch asymmetrische Anlagerung von Wasserstoff, Borhydriden oder Silanen an eine Kohlenstoff- oder Kohlenstoff-Heteroatommehrfachbindung in prochiralen organischen Verbindungen, oder die asymmetrische Addition von C-Nukleophilen oder Aminen an Allylverbindungen.

14. Verfahren zur Herstellung chiraler organischer Verbindungen durch asymmetrische Anlagerung von Wasserstoff, Borhydriden oder Silanen an eine Kohlenstoff- oder Kohlenstoff-Heteroatommehrfachbindung in prochiralen organischen Verbindungen, oder die asymmetrische Addition von C-Nukleophilen oder Amine an Allylverbindungen in Gegenwart eines Katalysators, dadurch gekennzeichnet, dass man die Anlagerung in Gegenwart katalytischer Mengen wenigstens eines Metallkomplexes gemäss Anspruch 9 durchführt.